

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Juha-Antti Muttonen
Hannu Räty

SÄHKÖMOOTTOREIDEN KUNNONVALVONTA

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011

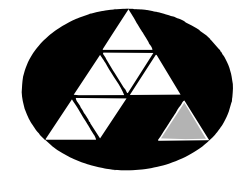
SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Tutkimuksen tausta	8
1.2	Toimeksiantaja ja tutkimuksen tavoite.....	9
1.3	Viitekehys	10
1.4	Menetelmä ja toteutus	11
2	KUNNONVALVONNAN MITTAUS	12
2.1	Lämpökamerakuvaus	14
2.2	Moottorin lämpenemä	15
2.3	Osittaispurkaukset	17
2.3.1	Osittaispurkauksien esiintyminen	17
2.3.2	Vaihtojännitteillä tapahtuvat sisäiset osittaispurkaukset.....	20
2.3.3	Pintapurkaukset vaihtojännitteellä	21
2.3.4	Osittaispurkausten suureet	22
2.4	Laakerivirrät.....	23
2.5	Laakerivirtojen muodostuminen	25
2.6	Kipinätyöstö	26
2.7	Laitteistojen suojaus reletekniikan avulla	26
2.7.1	Lämpörele	27
2.7.2	Elektroninen moottorinsuojarele	27
2.7.3	ABB SPEM- ja SPAM 150 C-moottorinsuojarele.....	28
2.8	Kunnonvalvonnan mittalaitteet	30
2.8.1	SKF Marlin I-Pro	30
2.8.2	SKF TKED 1-sähköpurkausdetektori	31
3	KUNNONVALVONNAN TOIMINTAYMPÄRISTÖ JA TOTEUTUS	32
3.1	Käynninaikainen kunnonvalvonta.....	32
3.1.1	Kunnonvalvonnan toiminta ja resurssit.....	32
3.1.2	Kunnonvalvonnan laitteet	33
3.1.3	Seisokin aikainen huolto	34
3.2	Oikosulkumoottoreiden mekaaniset viat ja huolto.....	34
3.2.1	Olosuhteet	35
3.2.2	Mekaaniset syyt.....	36
3.2.3	Voitelujärjestelmä	38
3.2.4	Voiteluaineet ja laakerit	38
3.2.5	Puhdistus ja jäähdytys	39
3.2.6	Huolto ja seuranta	39
4	TULOKSET	41
4.1	Laitteistoparannukset	41
4.1.1	Moottorisuojaukset.....	41
4.2	Parannukset käynninaikaiseen kunnonvalvontaan	42
4.3	Kunnonvalvonnan mittalaitteet	43
4.3.1	SKF Marlin I-Pro	43
4.3.2	SKF TKED 1 - Sähköpurkausdetektori	44
4.4	Parannukset seisokin aikaiseen huoltoon ja toimintaan	44

4.4.1	Moottorisuojien kuittaukset	46
4.4.2	Henkilöstön organisointi	46
4.4.3	Kunnossapidon yhteistyökumppani	47
4.5	Laakerivirtojen välttäminen	48
4.6	Ennakoiva huolto	49
4.6.1	Voiteluaineet ja niiden käyttö	49
4.6.2	Laakereiden valinta kohteeseen	50
4.6.3	Huolto.....	51
4.6.4	Seuranta.....	51
4.7	Sähkömoottoreiden puhdistusohje	52
4.7.1	Suojaus	54
4.7.2	Työvälineet.....	54
4.7.3	Puhdistus	55
4.7.4	Pikaopas	56
4.7.5	Ohjeita ja opastusta tarkempaa puhdistusta varten	57
4.7.6	Puhdistus tapauskohtaisesti.....	58
4.8	Sähkömoottoreiden käyttöönotto-ohje	62
5	POHDINTA.....	64
5.1	Tulosten arviointi	65
5.2	Oppimisprosessi	66
5.3	Jatkotutkimus- ja kehittämisideat.....	66
	LÄHTEET	67

LIITTEET

Liite 1	Pikaopas moottorin puhdistukseen
Liite 2	Moottorin puhdistusohje
Liite 3	Sähkömoottorin irrotusilmoitus IRKY
Liite 4	Momenttitaulukko
Liite 5	Liitinmerkinnät



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 600

Tekijä(t)

Juha-Antti Muttonen, Hannu Rätty

Nimeke

Sähkömoottoreiden kunnonvalvonta

Toimeksiantaja

Efora Oy

Tiivistelmä

Toimeksiannon tehtävänä oli tutustua tähänhetkiseen toimintamalliin sähkömoottoreiden kunnossapidossa. Olemassa oleviin tutkimuksiin nojautuen tuli selvittää kehityskohteita ja tuoda esille uusia innovaatioita ja toimintamalleja maailmalta toiminnan tehostamiseen. Tutkimustyö sisälsi sähkömoottorin kunnossapidon koko sen eliniän ajalta, keskittyen kunnonvalvonnan mittaukseen, laitteistoon sekä henkilöstön organisointiin ja toimintamalleihin.

Tutkimus toteutettiin henkilöhaastatteluina tutkimuskohteessa sekä etsimällä uusinta tietoa niin painettuna kuin verkkotekstinäkin.

Tutkimuksen tuloksena nousi esille ennakoivan huollon tärkeys. Sähkömoottoreiden seurannan tueksi ehdotettiin uusia mittalaitteita sekä suojaustapoja, joiden avulla saataisiin aikaan kattavampi käynninaikainen seuranta. Rekrytointi tai työvoiman organisointi keskitetysti tuottaisi seurannan ja huollon laadun kannalta tehokkaamman tuloksen.


Tutkimustyö oli laaja, joten jatkotutkimusideoita aiheesta löytyy paljon. Tarkempaa tutkimusta kaipaavat lämpökameran käyttö, ehdotettujen laitteistojen sijoitus suunnittelukohteessa sekä henkilöstön organisaatorakenteen kehitys.

Kieli
suomi

Sivuja 66
Liitteet 5
Liitesivumäärä 7

Asiasanat

Sähkömoottori, oikosulkumoottori, kunnossapito, ennakoiva huolto

 <p>NORTH KARELIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES</p>	<p>THESIS April 2011 Degree Programme in Electrical Engineer Karjalankatu 3 FIN 80200 JOENSUU FINLAND Tel. 358-13-260 600</p>
<p>Author(s)</p> <p>Juha-Antti Muttonen, Hannu Rätty</p>	
<p>Title</p> <p>Maintenance of electrical motors</p> <p>Commissioned by</p> <p>Efora Oy</p>	
<p>Abstract</p> <p>Assignment was to get aquatinted with the current operating model of maintenance of electrical motors. Relying on existing researches was to examine development subject and bring out the new innovations and operation models around the world making the operations more effective. The research included electric motor maintenance throughout the whole life period, focusing on the condition monitoring, measuring, equipment, personnel organization and operation models.</p> <p>The research was conducted in personnel interview and explore the latest information on the printed media and also on the web text.</p> <p>As a result of the research was raised the importance of proactive maintenance. Electric motor follow-up support was proposed new measuring devices and new ways to protect the motors and help to achieve a more comprehensive ongoing monitoring of the engine. Recruitment or labor organization would provide more efficient monitoring and maintenance.</p> <p>The research was extensive, so further research ideas can be found a lot. More detailed research is needed about the thermal imaging camera, the new equipment placing what we proposed and labor organization structure.</p>	
<p>Language</p> <p>Finnish</p>	<p>Pages 66</p> <p>Appendices 5</p> <p>Pages of Appendices 7</p>
<p>Keywords</p> <p>electric motor, induction motor, maintenance, preventive maintenance</p>	

KIITOKSET

Haluamme kiittää Efora Oy:tä mahdollisuudesta tutkia ja tehdä opinnäytetyömme Uimaharjun sellutehtaalla. Kiitokset menevät sähkökorjaamon väelle, erityismainintana haluamme kiittää kunnossapidon asiantuntijaa ja sähkötöiden johtajaa Pertti Kyyröstä, töidenesivalmistelija Mikko Lipposta sekä kunnossapitoasentajia Jouni Leppästä ja Heikki Juutista, jotka antoivat asiantuntemustaan ja kokemustaan meidän tutkimustyömme käyttöön.

Haluamme kiittää myös Fortum Power and Heat Oy:n tuotepäällikköä Svante Johanssonia ja SKF:n teknistä asiantuntijaa Antti Aarniota heidän antamistaan tiedoista.

Joensuussa 5.5.2011

Juha-Antti Muttonen

Hannu Räty

KÄSITTEET JA LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri, sähkövoima- ja automaatiotekniikkaan keskittynyt teollisuuskonserni
ABB-Sävy	Maaliväri
EPM	Emerson process management, yhdysvaltalainen prosessiautomaatiopalveluita tuottava yritys
EDM	Electrical Discharge Machining, kipinätyöstö
FAG	Fischers Aktien-Gesellschaft, laakerivalmistaja
I ² t-mittaus	Termiseen rasitukseen perustuva käynnistyksen valvonta
IGBT-transistori	Insulated Gate Bipolar Transistor
IP55	International Protection, Kotelointiluokka
pC	Picocoulombe, sähkövaraus amperia sekunnissa
PD-anturi	Osittaispurkausanturi
PD-mittaus	Osittaispurkausmittaus
Pt-mittaus	Lämpötilanmittaus
q	Näennäisvaraus
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung Aktiengesellschaft on Euroopan suurin ja maailman neljänneksi suurin ohjelmistovalmistaja
SKF	Svenska Kullagerfabriken AB
Oikosulkumoottori	Teollisuudessa yleisin käytetty vaihtovirtasähkömoottorityyppi, joka pyörii vaihtovirran taajuuden määräämällä nopeudella
Virtaspektrianalyysi	Roottorivaurioiden tunnistamismenetelmä

1 JOHDANTO

Opinnäytetyömme aiheena oli sähkömoottoreiden kunnossapito ja suojaus. Teollisuuden yksi suurimpia työntekijöitä on sähkömoottori. Tuotantolaitoksessa voi olla tuhansia erilaisia sähkömoottoreita. Sähkömoottorin työpanoksen korvaaminen muilla järjestelyillä olisi mahdotonta. Tämän vuoksi on tärkeää saada sähkömoottorin toiminta-aika mahdollisimman pitkäikäiseksi ja katkeamattomaksi. Esimerkiksi sellutehtaassa, missä tuotanto on ympärivuorokautista ja tuotanto perustuu sähkömoottoreiden tekemään työhön, on elintärkeää huolehtia moottoreiden huollosta. Ennakoimattomat tuotantokatkokset aiheuttavat suuria rahallisia menetyksiä yhtiön tulokseen.

1.1 Tutkimuksen tausta

Sähkömoottoreita on käytetty teollisuudessa jo kymmeniä vuosia. Nykyään tekniikan kehittyttyä on miestyövoiman ja tekniikan suhde kääntynyt painottumaan tekniikkaan. Jatkuvassa muutoksessa elävä toimintaympäristö vaatii jatkuvaa kehittämistä. Ajatusemme aiheeseen tulikin teollisuudessa toteutetun työharjoittelun ohessa. Sähkömoottoreiden elinkaari alkaa sen asentamisesta kohteeseen ja loppuu, kun se poistuu käytöstä. Näiden päätepisteiden välillä tapahtuu huoltoa ja seuranta. Se, kuinka kunnossapito toteutetaan ja mitä apuvälineitä toteutuksessa käytetään lopputuloksen saavuttamiseksi, luo pohjan moottorin toiminnalle.

Huollon ja seurannan toteuttamiseen tarvitaan tietenkin henkilöstöä. Monesti teollisuuden yksikössä henkilöstön määrä on suhteutettu lähelle toiminnan rajaa. Monien työtehtävien ohessa kehitystyö ja markkinoille tulevien innovaatioiden seuranta ja etsintä on miltei mahdotonta. Organisaatiotasolla kehitystyötä tapahtuu, mutta soveltaminen yksilölliseen toimintaympäristöön on usein hankalaa ja vaatisi tarkempaa tutkimusta kohteessa.

Tiedonlähteitä aiheeseen oli paljon ja monia ongelmakohtia on tutkittu maailmalla. Tässä työssä pyrimmekin tutustumaan toimintaympäristöön sekä tutkimaan mahdollisia parannuksia ja päivityksiä jo julkaistuista tutkimuksista. Oleellisena osana ovat alan ammattilaisten haastattelut ja heidän kokemuksensa huomioiminen.

1.2 Toimeksiantaja ja tutkimuksen tavoite

Toimeksiantajamme oli Efora Oy Uimaharjun yksikkö. Efora Oy on kunnossapito- ja insinööripalveluihin erikoistunut yritys, joka on teollisuuden tuotantolinjojen elinkaaren hallinnan, tuotantotehokkuuden, häiriöttömän käynnin turvaamisen ja kehittämisen osaaja. [8]

Efora Oy:n toiminta perustuu laajaan teollisuusprosessien tuntemukseen, asiakaslähtöiseen, laatu- ja kustannustietoiseen palveluun sekä pitkäaikaiseen kokemukseen teollisuuden investointien projektionnista. Efora Oy on ABB:n ja Stora Enso Oy:n yhteinen edellä mainittuihin osaamisalueisiin keskittyvä yritys. Toimipisteet sijaitsevat Heinolassa, Helsingissä, Imatralla, Kemissä, Oulussa, Uimaharjussa ja Varkaudessa. Yritys on suurin laatuaan sellu- ja paperiteollisuudessa. [8]

Työmme on toteutettu Stora Enso Enocell Oy:n yksikössä Uimaharjussa. Enocell Oy on maailman johtava sellun valmistaja. Sen tuotantokapasiteetti on 450 000 tonnia valkaisu- ja havusellua vuodessa. Enocellin valtteja sellun valmistajana ovat sellun lujuus, korkea vaaleus sekä puhtaus. Raaka-aineena Enocell käyttää tuotannossa mäntyä ja kuusta. [30]

Stora Enso Enocell Oy on ulkoistanut kunnossapidon kokonaan ja siitä huolehtii Efora Oy. Tehtävänäme oli tutkia yksikössä toimivien sähkömoottoreiden tämän hetkinen toimintamalli. Selvitimme kokonaisuuden toimivuutta sähköteknillisesti, mutta myös henkilöstön organisoinnin osalta. Selvitimme käytössä olevan järjestelmän kokonaisuu-

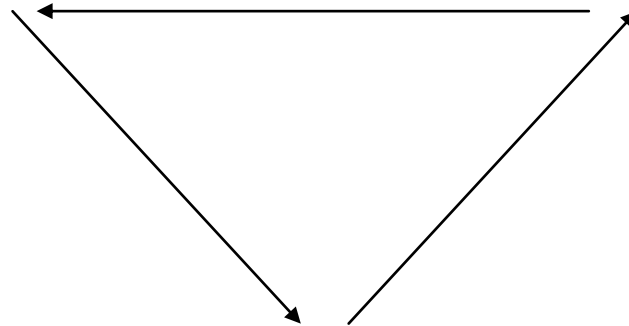
den, päivitysmahdollisuudet sekä tutkimme uusia toimintamalleja nykypäivän tekniikan ja alan oppien mukaan.

1.3 Viitekehys

Työmme pääteemat on kuvattuna visuaalisena viitekehyksenä.

Henkilöstö

Seuranta ja suojaus



Koneet ja laitteet

Kuva 1. Viitekehys.

Työmme keskittyi kolmeen keskeiseen osa-alueeseen, joilla pyritään takaamaan sähkömoottorille mahdollisimman pitkä elinkaari. Nämä tavoitteet pyrimme saavuttamaan käytössä olevien henkilöstöresurssien paremmalla organisoinnilla, moottoreiden käynninajan valvonnan ja seuraamisen tehostamisella. Näillä pystyimme luomaan ehjän ja toimivan kokonaisuuden, joka palvelee koko tehdasta. Mielestämme on tärkeää hoitaa toimintaa kokonaisuutena sillä kaikki osa-alueet edeltävät toista ja vikaantuminen yhdessä yksikössä johtaa toiseen. Hyvin huollettu kone ja sen käynninajan kunnon-

valvonta tuottavat edellytyksen moottorin toiminnalle ainakin sen suunniteltuun pysähtymiseen saakka. Näin vältetään turhia tuotannonmenetyksiä.

Automaattinen suojaus pitää laitteiston kunnossa sekä ehkäisee mahdollisia virhetointoja kuten pakotettuja käynnistyksiä. Ennakoivan kunnossapidon oleellisena osana ovat kannettavat mittalaitteet, jotka täydentävät automaattista seurantaa.

Hyvin organisoitu ja toimiva työympäristö täydentää ja sitoo edellä mainitut mekaaniset ryhmät ja tuottavat parhaan mahdollisen tuloksen. Ei tulisi myöskään unohtaa työympäristön tuomaa positiivista ja sosiaalista vaikutusta työn laatuun.

1.4 Menetelmä ja toteutus

Pääpaino tutkimuksellamme oli teoreettinen. Saadaksemme kuitenkin kuvan olemassa olevasta järjestelmästä toteutimme konkreettista tutkimista paikan päällä. Kohteessa saimme tutustua ympäristöön ja saimme myös kattavan esittelyn prosessin toiminnasta. Konkreettista tutustumista täydennettiin henkilöhaastatteluina, markkinatutkimuksena sekä teoreettisella tiedolla.

Menetelmät antoivat kattavan tiedon aiheesta. Haastatteluilla ja konkreettisella tutkimuksella saimme hyvän pohjatiedon järjestelmästä. Tämän jälkeen etsimme markkinoilta uusia innovaatioita ja menetelmiä, joilla toimintaa voisi parantaa. Informaatiota olikin hyvin saatavilla ja se saatiin sovellettua tutkittuun ympäristöön hyvin.

2 KUNNONVALVONNAN MITTAUS

Käynninaikaisissa kunnonvalvontamittauksissa moottoreille on käytössä muutamia eri menetelmiä. Käynninaikaiset menetelmät voidaan jakaa moottoreissa tapahtuviin ennakoihin mittauksiin ja mittauksiin, joilla seurataan vikaantumisen kehittymistä. [15; 16]

Eri käyttölämpötilat ja mekaaniset voimat vaikuttavat moottoreiden eristykseen, käämien ja teräspaketin kuntoon niin staattorissa, kuin roottorissa. Näitä muutoksia täytyy seurata kaiken aikaa, että moottoreille saadaan pitkä elinikä, jolla saadaan kustannustehokkuutta ja henkilöstön resursseja käytettyä paremmin ja tehokkaammin. [15; 16]

Haluttaessa saavuttaa moottoreille pitkä elinikä on erityisen tärkeää seurata moottorin värinäta-
soa ja lämpöä. Lämpö nopeuttaa moottoreiden eristyksen vanhenemista. Värinä moottoreissa aiheuttaa käämien kiilauksen heikkenemistä ja samalla käämi pääsee liikkumaan urissa, jonka seurauksena eristys heikkenee ja kuluu. Värinä voi jatkuessaan aiheuttaa myös kupari- ja teräsosien halkeamisia sekä samalla lisätä teräspaketin löysyyttä. Värinään voi olla useita syitä, joista tyypillisimpiä tapauksia ovat moottorin epäbalanssi tai se, että laite on poissa linjasta tai laakerin kautta kulkee virtaa eli muodostuu laakerivirtaa tai erittäin heikosta voitelusta laakereissa. [15; 16]

Moottorin eliniän pidentämiselle on tärkeää seurata kaikkia normaaleja prosessiparametreja kuten moottorin kuormitustasoa, käämien lämpötilaa ja värähtelyä. Moottorin värinää valvotaan värinävalvonnalla. Kaikista paras ratkaisu olisi, että moottorin värinäta-
soa valvottaisiin jatkuvalla mittauksella. [15; 16]

Moottorin käämin lämpötilaa voidaan seurata joko termistorin tai pt-vastuksen avulla. Enocellin tehtaalla moottoreissa oli käytössä termistori moottorin lämpötilan mittaamiseen. Termistorin huonona puolena on, että se ei kerro suoraan moottorin sen hetkistä lämpötilaa vaan toimii niin sanotusti kytkimenä välissä. Termistoriin on annettu ennalta

määrätty lämpötila, jonka yli lämpötila ei saa mennä, muutoin termistori pudottaa moottorin verkosta irti ja pysähtyy. Pt-vastuksella saadaan näkyviin moottorin lämpötila koko ajan ja samalla saadaan aikaan jatkuva trendi lämpötilasta. Pt-vastuksella (lämpötilanmittaus) voitaisiin asettaa prosessiin useita eri hälytyspisteitä, jolloin järjestelmään saataisiin tietoa koko ajan moottorin tilasta. Samalla käyttöhenkilökunta näkisi, pitääkö moottorin ajoa rauhoittaa, jolloin säästytäisiin turhilta pysähtymisiltä ja prosessin keskeytyksiltä. Samalla saataisiin pidennettyä moottorin ikää, koska turhat moottorin käynnistämiset ovat suuri rasitus moottorille. [15; 16]

Moottorin staattorin eristyksen tilaa seurataan osittaispurkausmittauksilla. Osittaispurkaus (engl. partial discharge) perustuu eristyksen sisällä tai sen pinnalla tapahtuviin osittaispurkauksiin. Sähköjohdolla tapahtuva ilmiö tunnetaan korona ilmiönä. PD-mittaus eli osittaispurkaukset mitataan käyttäen hyväksi mittauskondensaattoria, PD-anturia (osittaispurkaus anturi), joka on kiinteästi asennettu moottoriin, ja siirrettävää mittalaitetta, joka rekisteröi kipinöiden määrää ja intensiteettiä, sekä vaihekulmaa, missä purkaukset tapahtuvat ja millä hetkellä. Tällä menetelmällä pystytään määrittämään, missä purkaukset tapahtuvat ja mikä niiden haitallisuus on moottorin eristykselle. Mittaus pitää suorittaa useamman kerran, jotta saadaan aikaiseksi trendi. Tällöin voidaan selvittää, onko purkauksia tapahtunut kuinka usein ja mitä haittaa niistä on ollut eristyksen kunnolle. Samalla saadaan havaittua eristyksen tilan muutos. [15; 16]

Asynkronimoottorin eli oikosulkumoottorin roottorin kuntoa mitataan ilmväliin asennetun magneettivuoanturin ja akselijännitteen mittauksella. Normaalissa oikosulkumoottorissa roottorin kunto mitataan virtaspektrianalyysillä (roottorivaurioiden tunnistamismenetelmä), mikäli roottorissa on katkenneita sauvoja. Roottorin kunnan huomaa myös värähtelymittauksella kohonneilla taajuusnauhoilla kummaltakin puolelta 50 Hz:n taajuutta. [15; 16]

2.1 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvaamisella voidaan selvittää moottorissa olevia vikoja ja samalla suorittaa kunnonvalvontamittausta. Kädessä pidettävillä lämpökameroilla saadaan moottorista 2-ulotteista kuvaa. Lämpökameran tuottama kuva paljastaa moottorin pinnan lämpötilan, mikä kertoo moottorin sen hetkisen toimintakunnon. Tarkat lämpötilamittaukset usein suoritettuina parantavat tuotannon laatua ja nostavat samalla tuottavuutta, jolloin turhat seisokkiajat vähentyvät ja prosessia voidaan pitää käynnissä pidempään. [10]

Lämpökamerakuvaus tulee suorittaa normaaleissa prosessiolosuhteissa, kun moottori käy vakiokuormallaan, jolloin saadaan moottorin normaali käyntikunto selville. Lämpökamerakuvauksella saadaan kerralla mitattua tuhansia pisteitä moottorin pinnasta kerralla. Näitä ovat kaikki tärkeät moottorin komponentit: moottori, akseli, moottorin ja akselin laakerointi ja moottorivaihteisto. On hyvä muistaa lämpökamerakuvauksessa, että jokainen moottori on suunniteltu toimimaan tietyssä lämpötilassa, joten muut komponentit eivät saisi olla yhtä kuumia kuin moottorikotelo. [10]

Suurissa osissa moottoreita on listattu niiden toimintalämpötilat. Lämpökamerakuvaus ei paljasta moottorin sisälämpötilaa, kuten käämin lämpötilaa.. Moottorin kumentuessa sisältä myös moottorin pintalämpötila nousee, jonka lämpökamera kertoo. Koulutettu lämpökameran käyttäjä voi lämpökameran tuottamasta kuvasta kertoa, onko moottorilla riittämätön tuuletus, lähestyvä laakerivika, akselivika ja eristyksen hajoamisen roottorissa tai staattorissa. [10]

Paras hyöty lämpökameran käytöstä saavutetaan, kun luodaan prosessien kannalta säännöllinen tarkastus lista tärkeistä moottoreista, jotka kuvataan tietyin väliajoin ja kuvat tallennetaan tietokantaan. Tällöin voidaan luoda jatkuva trendi moottorista, jolloin voidaan seurata moottorin kuntoa ja tarkistaa käykö moottori liian kuumana vai ei. Moottorin lämpötilan noustessa 10 °C asteella moottorin suunnitellusta käyttölämpötilasta vähentää moottorin käyttöikää puolella. [10]

Lämpökamerakuvauksessa olisi hyvä muistaa seuraavat asiat:

- Kohteen täytyy olla näkyvässä paikassa. Moottorin pinnalla oleva pöly aiheuttaa mittaukseen epätarkkuutta.
- Voidaan mitata vain kappaleen pintalämpötiloja, jolloin otettava huomioon eri pintamateriaalien vaihtelevat emissiokertoimet.
- Ympäristön lämpötilan ollessa lähellä kohteen lämpötilaa on suhtauduttava kriittisesti saatuun tulokseen. [10; 27]

Jos lämpökamerakuvauksessa tulee ilmi, että moottori käy liian kuumana on syytä tarkistaa seuraavat asiat:

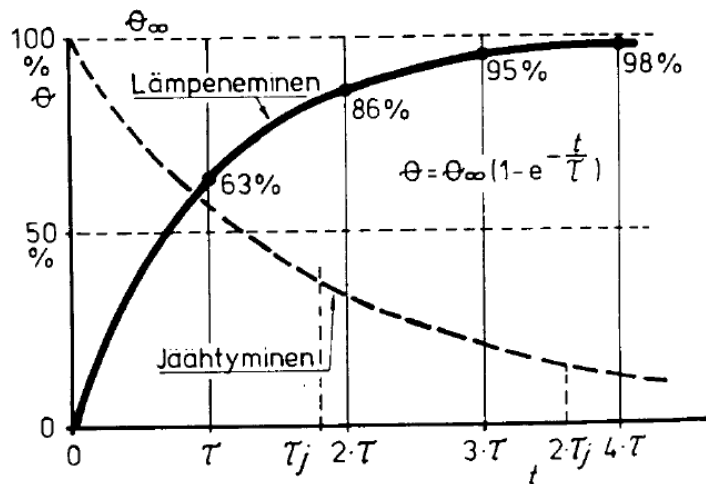
- riittävä jäähdytys
- jännitteen heilahdukset (voidaan todeta esimerkiksi sähkönlaadun analysaattorilla)
- laakerivika
- roottorin tai staattorin eristyksen pettäminen
- akselisiirtymä. [10; 27]

2.2 Moottorin lämpenemä

Moottorin ottaessa kuormitusvirran I , aiheuttaa se samalla käämityksen resistanssissa häviötehon, joka muuttuu lämmöksi. Moottorin pyöriessä vaihtosähköllä moottorin magnetoinnissa syntyy rautahäviöitä, jotka myös muuttuvat lämmöksi. Tämä häviöiden synnyttämä lämpöenergia siirtyy ja varastoituu moottorin massaan ja osa siitä pyritään siirtämään jäähdytyksen avulla ympäristöön. Moottorin lämpötilan noustessa vakiona pysyvään arvoon, siirretään ympäristöön kokonaan häviöiden aiheuttama lämpöenergia ympäristöön. [2; 7, s.516–517.]

Moottorin käämityksessä olevat eristysrakenteet määräävät moottorin suurimman sallitun lämpötilan θ_{max} . Tämän lämpötilan ylittyessä käämityksessä olevat eristysrakenteet tuhoutuvat. Tätä käämityksen lämpötilaa valvotaan teollisuudessa antureilla joko Pt-vastuksella tai termistorilla. [2; 7, s.516–517.]

Käämityksen lämpeneminen noudattaa yleensä eksponenttilakia (kuva 2). Lämpenemiskäyräkulku määräytyy lämpöaikavakion τ mukaan. Lämpenemän saavutettua arvon τ on moottori saavuttanut 63 % lämpenemän loppuarvosta. Moottori saavuttaa yleensä loppu lämpenemän θ_{max} , ajassa $4\tau - 5\tau$. Lämpenemisaikavakioon vaikuttavat moottorin massa, jäähdytystapa ja hyötysuhde. Aikavakio on sitä pidempi mitä suurempi moottorin on massaltaan ja jäähdytyksen ollessa huono. Esimerkiksi pienissä moottoreissa lämpenemisaikavakio voi olla 10 minuuttia ja suurissa se voi olla jopa tunnin tai pidempi. [2; 7, s.516–517.]



Kuva 2. Lämpenemiskäyrä. [2]

Kun moottoria ei enää kuormiteta, alkaa se jäähtyä. Jäähdyminen noudattaa samalla tavalla likimäärin eksponenttilakia, kuin lämpeneminen. Jäähdytysaikavakioon vaikuttavat moottorin rakenne ja jäähdytystapa. Tämä takia on otettava huomioon, että kuormit-

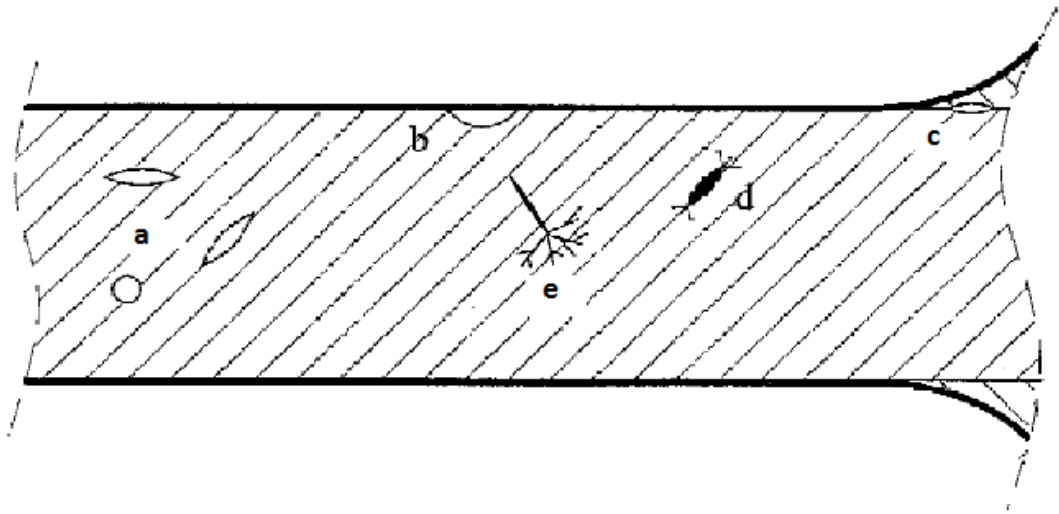
tamattomana pyörivän moottorin jäähtymisaikavakio on huomattavasti lyhyempi kuin seisovan moottorin. [2; 7, s. 516–517.]

2.3 Osittaispurkaukset

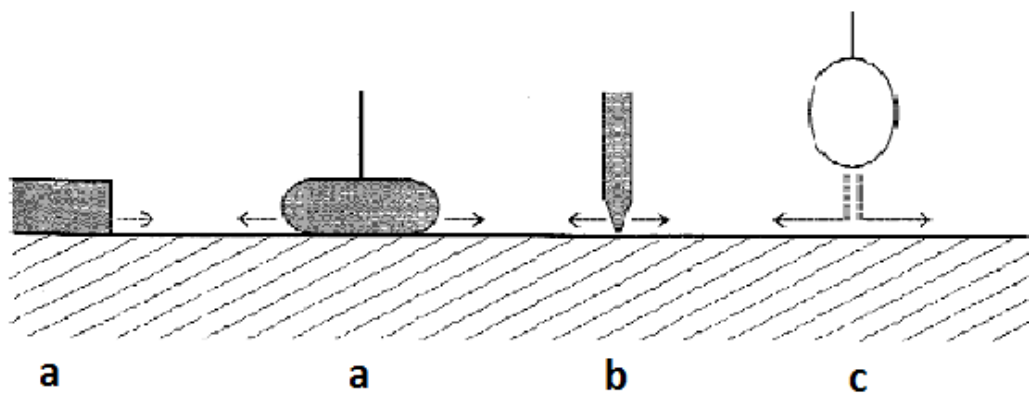
Osittaispurkaus on elektrodivälissä tapahtuva sähköpurkaus, joka ei oikosulje elektrodiväliä. Osittaispurkaus syntyy, kun sähkökentän voimakkuus ylittyy eristysosassa. Osittaispurkaustyyppinä ovat eritysrakenteen sisäiset purkaukset, pintapurkaukset eristeen pinnalla sekä johtimen pinnalla tapahtuvat purkaukset eli koronapurkaukset. [6, s. 74.]

2.3.1 Osittaispurkauksien esiintyminen

Osittaispurkauksia voi esiintyä niin tasa-, vaihto- kuin syöksyjännitteillä kaasuissa, nesteissä ja kiinteissä eristeissä sekä niiden rajapinnoilla. Osittaispurkaukset voidaan vielä luokitella sisäisiin purkauksiin eli ontelopurkauksiin, pintapurkauksiin ja koronapurkauksiin (kuvat 3 ja 4). Liukupurkaukset sisältyvät pintapurkauksiin. Kaikista suurin merkitys ja haitta osittaispurkauksilla on vaihtojännitteellä, jolloin purkaukset toistuvat joka jaksolla. [6, s. 75]



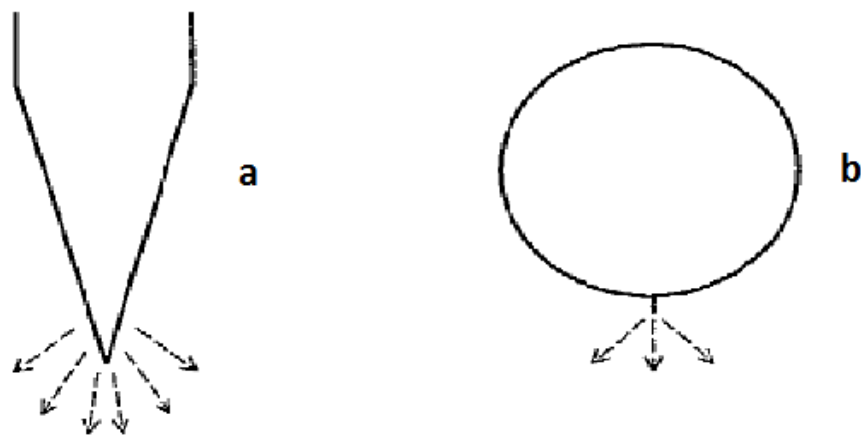
Kuva 3. Osittaispurkauksen esiintymispaikat eristeessä. a) sisäiset kaasuontelot b) eristeen ja metallin rajapinnalla oleva ontelo c) eristeiden rajapinnalla oleva ontelo d) metallihiukkasen tai muun vieraan hiukkasen ja varsinaisen eristeen rajapinnat e) kehittynyt sähköpuu. [6, s. 74]



Kuva 4. Pintapurkaukset eristeen pinnalla. a) elektrodin reuna-alueilla b) elektrodin vieressä terävänä c) kiinteän eristeen pinnalla sarjaeristyksessä. [6, s. 75]

Osittaispurkauksien vaikutukset eristeisiin ja ympäristöön voidaan jakaa kemiallisiin ja fysikaalisiin. Johtimen pinnalla tapahtuvat koronapurkaukset näkyvät ilmassa valona ja äänenä sekä vapauttavat samalla otsonikaasua ilmaan. Johdoilla merkittävin haitta ko-

ronapurkauksista ovat tehohäviöt. Koronapurkaukset aiheuttavat suurilla ylijännitteillä syöksyaaltojen vaimenemista ja loivenemista (kuva 5). Onteloissa osittaispurkaukset aiheuttavat eroosiota ja purkauskanavissa ne voivat synnyttää lämpöä. Osittaispurkaukset voivat myös synnyttää erilaisia kaasuja ja happoja, jotka syövyttävät eristeitä. Osittaispurkaukset voivat myös synnyttää radiohäiriöitä ja lisääntyvää UV-säteilyä. [6, s. 75]

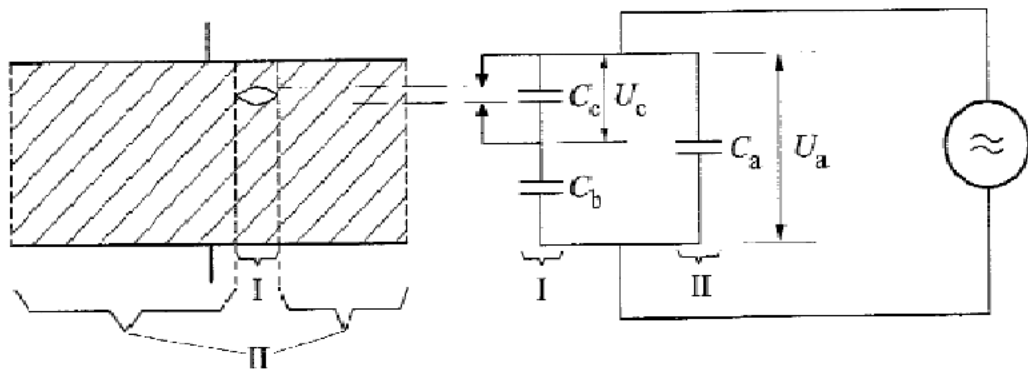


Kuva 5. Osittaispurkauksien esiintymispaikkoja a) koronapurkaus terävän esineen kärjessä b) muuten tasaisella pinnalla tapahtuva koronapurkaus pienessä epätasaisuuspisteessä. [6, s. 76]

Osittaispurkauksien ollessa tavallisesti pieniä, voivat purkaukset vaikuttaa merkittävästi eristeen elinikään lyhentäen sitä huomattavasti. Erityisen herkkiä purkauksille ovat polyetyleni- eli muovieristeet, joissa ei voida sallia merkittäviä purkauksia lainkaan. Kiille, lasi, posliini ja kovapaperi sen sijaan kestävät suuriakin osittaispurkauksia, siten purkausten voimakkuudella, esiintymistiheydellä ja paikalla missä purkaukset tapahtuvat on suuri merkitys sen vaarallisuuden arvioinnissa. [6, s. 76 - 77]

2.3.2 Vaihtojännitteillä tapahtuvat sisäiset osittaispurkaukset

Tarkastellaan seuraavaksi osittaispurkausten perusilmiöitä ja sen suureita. Näitä voidaan havainnollisesti tarkastella eristysrakenteen avulla, jossa on kaasuontelo (kuva 6). Osittaispurkaus tapahtuu kaasuontelossa erittäin nopeasti, jolloin ulkoinen piiri ei ehdi vaikuttamaan ilmiöön. Tämän johdosta rakennetta voidaan kuvata kolmikapasitanssimallilla. C_c on ontelon, C_b sen kanssa sarjassa olevan eristyksen ja eristysrakenteen loppuosan kapasitanssi C_a . [6, s. 76 - 77]

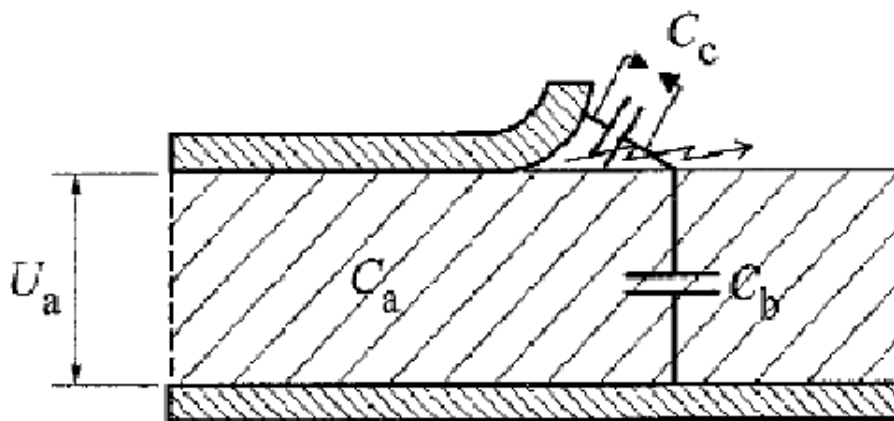


Kuva 6. Ontelo eristeessä ja kokonaisuutta kuvaava kolmikapasitanssimalli. [6, s. 76]

Vaihtojännitteen vaikuttaessa eristysrakenteisiin jakautuu se kapasitanssien suhteessa, ja näin ollen ontelon jännite on verrannollinen koko rakenteen jännitteeseen. Yleensä sähkökentän voimakkuus on suurempi ontelossa kuin ympäröivässä eristeessä. Jännitteen lisääntyessä ontelo syttyy tietyllä syttymisjännitteellä U^+ , U^- . Syttyminen synnyttää purkauksen, joka siirtää osan varauksesta ontelon toiselle seinämälle, josta seuraa, että jännite pienenee ontelossa ja tietyllä jännitteellä voi purkaus myös kokonaan sammua sammumisjännitteellä V^+ , V^- . [6, s. 76 - 77]

2.3.3 Pintapurkaukset vaihtojännitteellä

Pintapurkaukset tapahtuvat eristeen pinnassa, eristeen suuntaisessa kentässä (kuva 7). Pintapurkauksia voidaan tarkastella samalla tavalla kuin vaihtojännitteellä tapahtuvia sisäisiä purkauksia. Tarkastelussa ontelon sisäinen kapasitanssi korvataan voimakkaan sähkökentän alueen kapasitanssilla. Liukupurkaus on yksi voimakkaimmista ja haitallisimmista pintapurkauksien muodoista. Liukupurkauksia voi syntyä kahden eristeen rajapinnalla. Liukupurkauksia tavallisimmin ja useimmiten esiintyy kiinteän eristeen ja nesteen rajapinnalla. Toinen merkittävä syntypaikka on kiinteän eristeen ja ilman välillä. Tärkeimmät rakenteet liukupurkausrakenteissa ovat läpivientieristeet ja kaapelipäätteet. Erityisesti liukupurkaukset ovat haitallisia ja hyvin kuluttavia orgaanisille eristeille kuten esimerkiksi muoveille. Näiden pinnoilla tapahtuvia pitkiä ja merkittäviä osittaispurkauksia ei voida sallia. [6, s. 80]



Kuva 7. Pintapurkaus yhdessä ontelopurkauksen kanssa. [6, s. 80]

Liukupurkauksen syntyessä ja tapahtuessa eristeen rajapinnalla alkaa sähkökenttä taipua kuvan 7 osoittamalla tavalla. Osittaispurkauksen kentänvoimakkuus permittivisyydeltään pienemmässä ja sähkölujuudeltaan heikommassa ilmassa ylittää helposti ilman sähkölujuuden. [6, s. 80 - 81]

Liukupurkauksen syttymiseen tarvittava syttymisjännite ei riipu pintamatkan pituudesta. Kuitenkin syttymisjännitteen yläpuolella rakenteen jännitelujuus kasvaa hyvin hitaasti kiinteän eristeen pituutta suurennettaessa. Ylilyöntijännite ilmassa on syttymisjännitteen yläpuolella verrannollinen eristeen pintamatkan pituuteen potenssiin 0,2. [6, s. 80 – 81.]

Ylilyöntijännitteen parantaminen öljyssä pintamatkaa kasvattamalla on tehokkaampaa kuin ilmassa, jolloin eksponentti on 0,4. Liukupurkausrakenteessa, myös seinämän paksuntaminen vaikuttaa ylilyöntijännitteen kasvuun. [6, s. 80 – 81.]

2.3.4 Osittaispurkausten suureet

Osittaispurkauksia voidaan konkretisoida ja samalla helpottaa niiden ymmärtämistä tarkastelemalla yksittäistä purkausta, pulssijonoa, jonka purkaus aiheuttaa tai niiden kokonaisenergiaa ja tehoa. Luonnollisin tapa esittää osittaispurkaus olisi sen varaus. Tämä esitysmalli on siinä mielessä kaikista hankalin, koska varausta ei yleensä tunneta eikä sitä voida mitata. Yleensä esitystavaksi on otettu eristysrakenteen liittimissä näkyvä varauksen muutos. Osittaispurkauksessa tapahtuva näennäisvaraus on esitetty purkauksen mitaksi. [6, s. 83.]

Osittaispurkauksen näennäisvaraus q , on se varaus, joka eristysrakenteeseen tuotuna aiheuttaa siinä yhtä suuren jännitteen muutoksen kuin osittaispurkaus. Standardi IEC 270 kertoo osittaispurkauksen mittauksen seuraavasti:

Osittaispurkauksen virtapulssin näennäisvaraus on se yksinapainen varaus, joka tuotuna hyvin lyhyen ajan sisällä koekappaleen liittimiin tietyssä testauskytkennässä, antaisi saman mittauslaitteen näyttämän kuin osittaispurkauksen virtapulssi itse. [6, s. 83.]

Näennäisvaraus ilmoitetaan normaalisti pC:ina (picocoulombeina) [6, s. 83].

Näennäisvarauksen käyttäminen esitystapana aiheuttaa ontelossa tapahtuvalle purkaukselle sen, että näennäisvaraus q on kääntäen verrannollinen eristysrakenteen paksuuteen.

Osittaispurkauksen suuruutta ja merkitystä voidaan esittää myös osittaispurkauksen syttymis- ja sammumisjännitteillä. [6, s. 83]

Osittaispurkauksen syttymisjännite on eristysrakenteen vaikuttava jännite, jolla on tietyn kokoisia tai suurempia toistuvia purkauksia, jotka havaitaan ensimmäisen kerran jännitettä asteittain suurennettaessa. [6, s. 83]

Osittaispurkauksen sammumisjännite on eristysrakenteeseen vaikuttava jännite, jolla on tietyn kokoisia tai suurempia purkauksia ei enää esiinny jännitettä pienennettäessä. Purkauksen esiintymistiheyttä voidaan esittää käyttämällä vaihtoehtoisia integroituja suureita:

- purkauksen lukumääräyksikössä n
- peskimääräinen purkausvirta T ($T \Delta$ jakson aika)
- purkauksen energia
- purkauksen energia jaksoa kohti
- purkauksen teho. [6, s. 83 - 84]

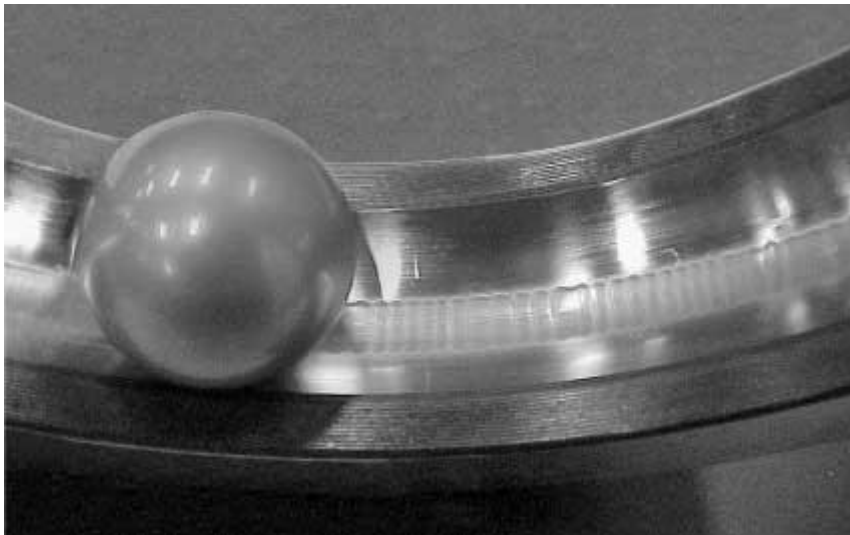
2.4 Laakerivirrat

Suurin yksittäinen syy moottoreiden rikkoontumisiin ovat laakerivauriot. Laakerivaurioihin on monta syytä ja yleensä laakerin rikkoontuminen on monen tekijän summa. Yhtenä syynä pidetään laakereiden läpi kulkevia sähkövirtoja eli laakerivirtoja. [3; 11; 12]

Laakerivirtoja voi muodostua ja esiintyä koko sähkömoottoreiden olemassa olon ja käytön aikana. Etenkin viime vuosina laakerivirtojen esiintymiset ja niiden aiheuttamat vahingot ovat lisääntymään päin. Laakerivirtojen suuriin esiintymistiheyksiin vaikuttavat uudet nopeussäädetyt sähkömoottorikäytöt, eli toisin sanoen taajuusmuuttajakäytöt.

Nopeussäädetyissä käytöissä tehoasteiden nousevat jännitepulssit ja korkeat kytkentätaajuudet voivat aiheuttaa laakereiden kautta purkautuvia virtapulsseja. [3; 11; 12]

On todettu, että jo muutaman kuukauden vanhoissakin taajuusmuuttajakäytöissä on voinut esiintyä laakeriin kohdistuneita vaurioita, joiden syynä on voinut olla laakerivirrat. Suuritaajuiset virrat ovat kulkeutuneet moottoriin laakereiden kautta aiheuttaen samalla vaurioita. Suuritaajuisien virtapulssien purkautuminen kuluttaa vähitellen laakereiden vierintäpintaa, muodostaen laakeripesiin niin sanottua pyykkilautakuvioita (kuva 8).



Kuva 8. Laakeripesään muodostunut ns. pyykkilautakuvio. [3]

Fyysisesti laakerivirtojen esiintyminen voidaan moottorissa havaita käyntiäänen muutoksella, laakeroinnissa käytettävän rasvan värin muuttumisena ja laakerin vierintäpintaan muodostuvan pyykkilautakuvion avulla. [3; 11; 12]

2.5 Laakerivirtojen muodostuminen

Laakerivirtojen muodostuminen, etenkin vaihtovirtakäytöissä on lisääntynyt taajuusmuuttajien tullessa yhä enemmän käyttöön. Taajuusmuuttajilla pyritään parantamaan moottoreiden käyttöä monipuolisimmiksi. Nykyisissä taajuusmuuttajakäytöissä kytkennät tapahtuvat 20 kertaa nopeammin kuin ennen IGBT-transistoreiden (eng. Insulated Gate Bipolar Transistor) ansiosta. [3; 11; 12]

Laakeriin muodostuu virta, kun yli-indusoitunut jännite muodostuu laakeriin. Yli-indusoitu jännite voi muodostua staattorista kiertävänä akselimaadoitusvirtana tai kapasitiivisena purkausvirtana. Suuritaajuiset laakerivirrat voivat syntyä kolmella eri tavalla. Syntytapaan voivat vaikuttaa ennen kaikkea moottorin koko sekä moottorin rungon ja akselin maadoitustapa. Suuri tekijä on myös oikealla kaapelityypillä ja asianmukaisella maadoituskaapelin ja suojavaipan asennuksella. [3; 11; 12]

Ongelma etenkin suurissa moottoreissa on, että staattoria kiertää suuritaajuinen vuo, joka indusoi suuritaajuisen jännitteen moottorin akselipäiden välille. Käämityksestä staattoriin kulkeva suuritaajuinen vuo aiheuttaa käämityksestä staattoriin kulkevan epäsymmetrisen vuotovirran. Akselin päihin muodostuneen indusoituneen jännitteen ollessa riittävän suuri voi se kumota laakereiden öljykalvon impedanssin, jolloin staattorissa kompensoiva virta alkaa virrata akselin, laakereiden ja staattorin rungon väliin muodostuneessa virtapiirissä. Tämän seurauksena suuritaajuiset laakerivirrat ovat tuloksena siitä, että virtaa vuotaa vaihtovirtakäyttöjen yhteisesti muodostamaan virtapiiriin. [3; 11; 12]

Yllä mainittu staattorin runkoon vuotava virta kulkeutuu takaisin taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajaan, joka on virran alkuperäinen lähde. Virran palatessa lähtöpaikkaansa se sisältää aina impedanssia, jolloin moottorin rungon jännite kasvaa lähdemaan tasoon verrattuna. Moottorin akselin ollessa maadoitettu käytettävän laitteen kautta näkyy moottorin rungon jännitteen kasvu moottorin laakereissa. Jännitteen kasvaessa riittävän suureksi voi laakereiden öljykalvon impedanssi kasvaa, jolloin osa virrasta voi vuotaa

laakerin, akselin ja käytettävän laitteen kautta takaisin taajuusmuuttajan vaihtosuuntaaja komponenttiin. [3; 11; 12]

2.6 Kipinätyöstö

On havaittu, että laakerivirrat voivat esiintyä monessa eri muodossa. Nykyään sähkömoottoreiden valmistuksessa ja suunnittelussa on otettu huomioon laakerivirtojen eri muodot. Nykyään valmistuksessa on päästy jo niin hyvään tilanteeseen, että moottorin epäsymmetrian aiheuttamat pienitaajuiset laakerivirrat on saatu poistettua lähes kokonaan. Kuitenkin vielä uusissakin moottorikäytöissä saattaa esiintyä laakereiden kautta purkautuvia suuritaajuisia virtapulsseja. Suuritaajuisen virtapulssin energian ollessa riittävän suuri, voi moottorin kuulalaakerista ja sen vierintäpinnasta siirtyä metallia voiteluaineeseen. Tätä ilmiötä kutsutaan kipinätyöstöksi (engl. EDM, Electrical Discharge Machining). [3; 11; 12]

Yksittäinen suuritaajuinen virtapulssi ei vielä saa aikaan metallin siirtymisiä. Kuitenkin pienikin kipinätyöstön aiheuttama poikkeama voi aiheuttaa sen, että pulsseja alkaa kerräntyä ja ilmiö laajenee kipinätyöstökuopaksi. Etenkin uusien vaihtovirtamoottorikäyttöjen kytkentätaajuus on korkea ja pulssien suuri esiintymismäärä nopeuttaa laakeroinnin kulumista, koska metallia kuluu koko ajan pois. Tästä seurauksena on, että moottori voidaan joutua laakeroimaan uudestaan jo lyhyen käytön jälkeen, mikä lisää valitettavasti kuluja. [3; 11; 12]

2.7 Laitteistojen suojaus reletekniikan avulla

Tällä hetkellä Enocellin tehtaalla moottoreiden suojina käytetään lämpörelettä ja käämin lämpötilan mittausta termistorin avulla. Ainoastaan suuremmissa koneissa on käytössä moottorinsuojareleet. Perussääntönä pidetään, että kaikki suurjännitekoneet (yli 1 kV:n) koneet suojataan moottorinsuojareleellä [15]. Seuraavissa kappaleissa olemme käsitelleet eri suojauslaitteiden ominaisuuksia.

2.7.1 Lämpörele

Perinteinen lämpöreleen toiminta perustuu virran mittaukseen. Moottorin pyöriessä käämin läpi kulkee virtaa, jonka aiheuttamat virtalämpöhäviöt aiheuttavat käämitykseen lämpötilan muutoksen. Moottorin kuormituksen kasvaessa tai syöttöjännitteen pienentyessä moottorin ottama virta verkosta sekä käämityksen kautta kulkeva virta kasvavat. Samalla virran kasvaessa käämityksessä alkaa moottorin lämpötila nousta. Lämpörele mittaa tätä verkosta otettua virtaa ja sen muutosta. Perinteiset lämpöreleet toimivat, kun moottorin ottama virta kulkee lämpöreleen läpi, joka lämmittää lämpöreleen kaksoismetalli- eli bimetalliliuskaa. Lämpötilan noustessa liuska taipuu hiljalleen ja laukaisee moottorin irti verkosta. Lämpöreleen virta asetellaan moottorin nimellisvirran mukaan. Moottorin käydessä osakuormalla, voidaan virta säätää todellisen kuormitusvirran avulla. [7, s. 528 – 529]

2.7.2 Elektroninen moottorinsuojarele

Sähkömoottoreiden toimiessa olosuhteissa, joissa on vaativat käynnistys- ja käyntiolo-suhteet, ei sulakkeen ja tavallisen lämpöreleen yhdistelmä aina ole riittävä. Näissä tapauksissa tulisi käyttää elektronisia moottorinsuojareleitä. Moottorinsuojareleeseen voidaan asettaa normaalin lämpöreleen tapaan lämpösuojaus. Moottorinsuojarele arvioi moottorin käämityksen lämpötilaa kahden aseteltavissa olevan lämpöaikavakion mukaan. Perinteinen lämpörele arvioi ainoastaan yhden lämpöaikavakion avulla. Moottorinsuojareleeseen voidaan asettaa myös monia muita suojia kuten oikosulkusuojaus, vionkuormitussuojaus ja jumisuoja. [7, s. 537 – 539]

Elektronisten moottorinsuojien asettelu on helppo suorittaa ja se voidaan liittää jo olemassa oleviin valvontajärjestelmiin. Esimerkiksi ABB:n (Asea Brown Bover) SPAM 150c releestä löytyy häiriötön optinen tiedonsiirtokanava, jolla rele voidaan liittää valvontajärjestelmään. [7, s. 537 – 539]

2.7.3 ABB SPEM- ja SPAM 150 C-moottorinsuojarele

SPEM-rele on suunniteltu pienjännite oikosulkumoottoreiden suojaukseen tarkoitettu mikroprosessoritekniikkaan perustuva moottorinsuojarele. SPEM-rele on hyvä vaihtoehto tilanteisiin, joissa moottori täytyy suojata tarkemmin ja kattavammin kuin mihin perinteinen lämpörele pystyy. [5]

SPEM-releen sisäänrakennettu logiikka valvoo kattavasti moottorin lämpötilojen vaihte-luita. Releen lämpökapasiteettimuisti valvoo moottorin ottamaa virtaa vertaa niitä jat-kuvasti moottorin tunnettuihin lämpötilatietoihin ja laukaisee moottorin, mikäli asetellut rajat ylittyvät. [5]

ABB:n SPEM-moottorinsuojarele antaa suojauksen seuraavilla tavoilla:

- terminen ylivirtasuojaja täydellisellä lämpökapasiteetti muistilla
- käynnistysvirta suojaus
- epäsymmetria suojaus
 - vaihe epätasapaino
 - vaihevika
 - väärä vaihejärjestys
- maasulkusuojaus
- itsevalvonta. [5]

ABB SPAM 150 C moottorinsuojarele on tarkoitettu keskisuurten ja suurten kontakto-riohjattujen ja katkaisijaohjattujen epätahti- ja tahtimoottoreiden kattavaan suojaukseen. SPAM 150 C rele on virtaa mittaava monitoimisuojarele joka on toteutettu mikropro-ssessoritekniikalla. [4]

SPAM 150 C rele mittaa jatkuvasti verkon vaihevirtoja ja nollavirtaa kolmevaiheisesti virtamuuntajan avulla. Kaikki kolmen vaiheen- ja nolla johtimenvirta mitataan jatkuvan näytteenottoperiaatteella. Vian havaitessa rele antaa hälytyksen tai antaa laukaisu käskyn joko kontaktorille tai katkaisijalle. [4]

Releestä löytyy kuusi lähtörelettä, jotka ovat vapaasti ohjelmoitavissa käyttäjän käyttötarpeen mukaan. Lähtöreleillä saadaan eri suojauselinten havahtumistietoja, ylikuormituselinten ennakkohälytystiedot, käynnistyskeskeytyksen estotiedot kosketintietona. Kosketintietoja voidaan käyttää esimerkiksi releiden lukitsemiseen hälytysten jälkeen antoon tai moottorikäyttöjen tulotietoihin. [4]

SPAM 150 C releellä voidaan suojata moottori seuraavilla tavoilla:

- kolmivaiheinen terminen ylikuormitussuoja
- jumikytkimen käyttö mahdollisuus
- käynnistyskeskeytyksen valvonta tai vakioaikaylivirtasuoja
- kolmivaiheinen pikalaukaisu
- vakiomaasulkusuojaus
- vaihejärjestyksen valvonta
- vakioaika-alivirtasuojaus
- käynnistysaikakätkuri, jolla estetään liian tiheään tapahtuvat käynnistykset. [4]

SPAM 150 C releellä onnistuu helposti suojata moottori jumitiloilta. Jumitila aiheutuu yleensä moottorin laakereiden vioittumisesta tai kuormituksen kiinnijuuttumisesta. Jumitila vaurioittaa helposti moottorin häkkikäänämistä. [4]

2.8 Kunnonvalvonnan mittalaitteet

Tässä osiossa esittelemme jo olemassa olevia mittalaitteita ja niiden ominaisuuksia sekä myös teoriaa löytämiemme uusien laitteiden käytöstä ja ominaisuuksista.

2.8.1 SKF Marlin I-Pro

Enocellin tehtaalle on hankittu käyttöön hiljattain SKF:n (Svenska Kullager fabriken AB, Ruotsin kuulalaakeritehdas Oy) Marlin I-Pro kädessä pidettävä mittalaite, siirryttäessä EPM (Emerson process management, yhdysvaltalainen prosessiautomaatio palveluita tuottava yritys) kunnonvalvontalaitteista SKF:n tuottamiin palveluihin. Marlinin käyttöön on saanut tehtaalla tähän mennessä koulutuksen prosessinhoitajat sekä muutama kunnossapitoasentaja.

Marlin I-Pro laitteella voidaan helposti mitata sähkömoottorista värinätasot sekä lämpötila. Samalla kun laitteella mitataan värinä ja lämpötila moottorista voidaan laitteeseen tehdä huomioita moottorin ympäristöstä, rasvauksesta ja laakeroinnin kunnosta. Samalla laitteella saadaan luotua jatkuva trendi moottorin mittauksista, jolloin jokainen mittaus talletetaan ja voidaan seurata muutoksia parametreissa. [28]

Mittalaitteesta tiedot ajetaan yhteiseen tietokantapalveluun, jolloin jokainen oman alan asiantuntija voi helposti katsoa saatuja tuloksia omalta tietokoneeltaan ja suorittaa helposti mahdolliset jatkotoimenpiteet. [28]

Laitteeseen voidaan tehdä Enocellin tehtaalla tällä hetkellä käytössä olevat sähkömoottoreiden kriittisyysluokat, jotka on esitelty aikaisemmin. Tällöin mittalaite ilmoittaa, mitkä sähkömoottorit ovat seuraavaksi tarkistuslistalla. [28]

2.8.2 SKF TKED 1-sähköpurkausdetektori

SKF:n valikoimista löytyy laakerivirtojen mittaukseen soveltuva laite TKED 1 sähköpurkausdetektori. Laakerivirtojen haitallisuus on esitelty aiemmin tässä työssä. TKED 1 mittalaite on sähkömoottorissa olevan laakerin sähköpurkauksien tunnistamiseen tarkoitettu mittalaite, jolla on turvallista ja helppoa mitata laakerissa esiintyvät virrat. [28]

TKED 1 on kädessä pidettävä mittalaite, joka havaitsee sähkömoottorin laakerissa kulkevat sähköpurkaukset. TKED 1-mittalaitetta voidaan käyttää turvalliselta etäisyydeltä moottorista, jolloin loukkaantumisriski on minimaalinen ja mittauksen voi suorittaa myös muu kuin sähköalan ammattilainen. Mittalaitteeseen ei tarvita erityiskoulutusta. [29]

3 KUNNONVALVONNAN TOIMINTAYMPÄRISTÖ JA TO- TEUTUS

3.1 Käynninaikainen kunnonvalvonta

Sähkömoottorin eliniän ja toiminnan kannalta on tärkeää ylläpitää laadukasta ja sujuvasti toimivaa kunnonvalvontaa käynnin aikana. Jatkuva seuranta, tarkka kirjanpito ja historian ylläpito helpottavat työtä tulevaisuudessa. Ennakoiva kunnonvalvonta on nimensä mukaisesti entisten virheiden, epäkohtien ja puutteiden parantamista, etteivät ongelmat pääse uusiutumaan.

Enocelin käynninaikainen kunnonvalvonta toteutettiin Efora Oy:n toimesta. Jokaisella osastolla oli yksi huoltomies, joka seurasi ja ylläpiti kunnonvalvontaa. Työtehtäviin kuuluu moottoreiden rasvaus sekä ennakoiva seuranta kannettavilla mittalaitteilla, mutta myös kuuntelemalla moottoriääntä. Seuranta tapahtuu ainoastaan päivävuoron aikana. Vuorokorjaus on hävitetty kokonaan, joten ennakoivaa kunnossapitoa ei tapahdu kuin kahdeksana tuntina vuorokaudessa. Vuorokorjausmiehet eivät tee kuin hätäkorjauksia toiminnan varmistamiseksi, muutoin työt siirtyvät aina Efora Oy:n toimeksi. [23;26]

Kohteessa on ennestään ollut käytössä CSI-kunnonvalvontalaitteita, mutta niiden käytöstä ollaan luopumassa. Talvella 2010 - 2011 oli aloitettu siirtymävaihe kohti SKF:n (Svenska Kullagerfabriken AB, Ruotsin kuulalaakeritehdas Oy) tarjoamia palveluja. Koulutus ja ympäristön kartoitus tapahtuu SKF:n toimesta. Koulutus keskittyy kunnonvalvontalaitteiden opastamiseen. [23]

3.1.1 Kunnonvalvonnan toiminta ja resurssit

Ennakoiva kunnonvalvonta toteutettiin osastoittain yhden huoltomiehen voimin. Hänen tehtävänä on kuunnella ja seurata moottoreiden toimintaa sekä tehdä mahdollisia

huoltotoimenpiteitä, jotta vikaantumiselta välttyttäisiin. Mahdolliset vikaa enteilevät äänet tulee kirjata SAPIin (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung Aktiengesellschaft, järjestelmä analysointi ja ohjelmistojen kehittäjä). Vian perusteella päätetään moottorin toiminnasta, otetaanko heti korjaukseen, jos mahdollista, vai ajetaanko mahdolliseen seisokkiin asti. Vian perusteella työ siirtyy mekaaniseen kunnossapitoon tai sähkökorjaamolle. [23;26]

Kaikki osapuolet kommunikoivat SAPIin välityksellä. Huoltohistoria ilmenee SAPIin kautta, jonka avulla määritellään vikaantuneen moottorin paikalle uusi moottori. SAP järjestee myös moottoreiden seurannan laskemalla jokaiselle moottorille ennalta määrättyllä huoltovälillä tarkastusaikataulun. Näiden ilmoitusten avulla pyritään jokainen moottori tarkastamaan tietyin väliajoin. [23;25]

Resurssit kunnonvalvontaan olivat pienet. Tehtäviä oli paljon moottoreiden kunnonvalvonnan ohella, ja aika on rajallista. Varastointijärjestelmä toimii tällä hetkellä kahdennettuna järjestelmänä. Käytössä olivat yhtä aikaa Excelillä tehty tietokanta sekä SAP-järjestelmä. Käytettävissä olleet resurssit oli sidottu toisiinsa SAP-järjestelmällä, joka ohjailee kokonaisuuden toimintaa. SAP on johtava liiketoimintasovellusten tarjoaja maailmassa. Ohjelmisto mahdollistaa seurannan talouteen, palkkaukseen, varastokirjanpitoon, asiakassuhteisiin sekä paljon muuta. [25]

Toimintamalli perustuu Stora Enso Enocell Oy:n ja Efora Oy:n väliseen sopimukseen, jossa Enocell on ulkoistanut lähes kaiken kunnossapidon Efora Oy:lle.

3.1.2 Kunnonvalvonnan laitteet

Huoltomiehen mukana kulkevista laitteista oli vastannut EPM Nykyisin ollaan siirtymässä SKF:n seurantalaitteisiin joihin siirtymävaihe oli alkanut. Osastoille oli tilattuina uutena laitteena SKF Marlin I-Pro, jonka koulutus oli alkanut talvella 2011. Laitteen

ominaisuuksia ja mittauksia käsitellään tarkemmin kunnonvalvonnanmittalaitteet osiossa SKF Marlin I-Pro 4.3.1 (sivu 40). [24]

SKF:n yhteistyön myötä moottorit jaetaan kriittisyysluokkiin A, B ja C. A- luokan koneet mitataan kerran vuorokierron aikana (kierto kestää 6 päivää), B-luokka harvemmin ja C-luokka ajetaan loppuun asti. Moottorit ovat jaettu tasaisesti viiden vuoron kesken. [24]

3.1.3 Seisokin aikainen huolto

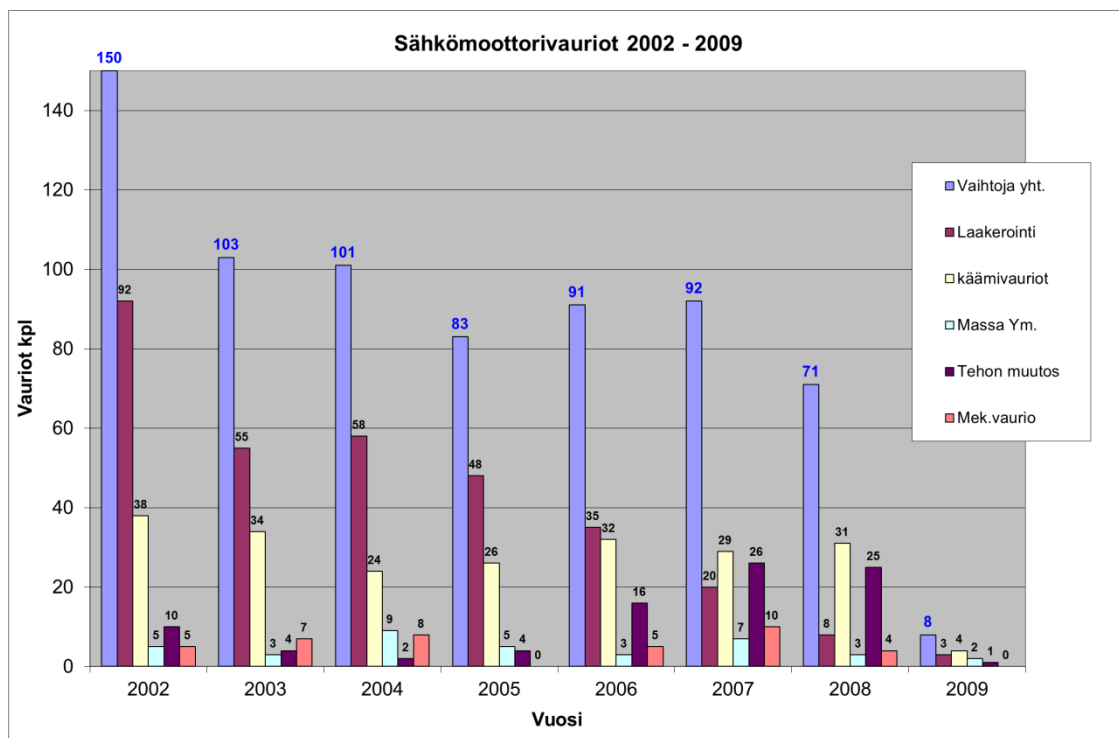
Seisokin aikana huolto oli suurimmalta osin ulkoistettua. Moottoreiden huollon, vaihdon ja niiden asennukset hoitaa ulkopuolinen osapuoli. Käynninaikana ilmennyt vika, kuten alkava laakerivaurio pyritään huoltamaan auttavasti niin että moottori kestää seuraavaan suunniteltuun seisokkiin. Kerääntyvät ongelmat löytyvät SAPista josta työt tuostetaan seisokkiin. [24]

3.2 Oikosulkumoottoreiden mekaaniset viat ja huolto

Osastokohtaiset suuret lämpötilaerot vaikuttavat moottorin elinkaareen. Suurin osa moottorien käyttökohteista koostuu pumppujen, sekoittajien ja kuljettimien toiminnasta. Näistäkin kolmesta kohteesta pumput olivat suurin yksittäinen käyttökohde. Tässä osiossa keskitytään moottoreiden toimintaan ennen vikaantumista, olosuhteisiin sekä suurimpiin syihin, miksi moottorit vioittuvat tulevaisuudessa.

Aloitetaan tutkimalla moottoria mekaanisena laitteena. Tutkitusti ja tilastollisesti yleisin syy käytöstä poistumiseen on laakerivika (taulukko 1). [25]

Taulukko 1. Sähkömoottorivauriot. [25]



Laakerivika on todennäköisesti ainoa mekaaninen vika, mitä käytössä tapahtuu. Muut mekaaniset viat kuten staattorin rikki meneminen ja ylikuumentuminen ovat yleensä juuri laakerin pettämisen seurausta. Käsiteltäessä tutkimuskohteena olevaa oikosulkumoottoria täytyy muistaa, että tärkeintä moottorin toiminnan kannalta on hyvä tuuletus sekä puhdistus. [22]

3.2.1 Olosuhteet

Sellutehtaan ympäristöstä löytyivät oikosulkumoottorin kannalta kolme merkittävää toimintaa haittaavaa tekijää: korkeat lämpötilat, tuotannossa syntyvä pöly sekä massa. Tuotannossa käsiteltiin paljon kemikaaleja sekä vettä, jotka aiheuttavat suurta harmia, mikäli moottoreiden suojaus tai huolto ei toimi.

Suurin osa tehtaan moottoreista toimi pumppujen voimanlähteenä. Selluloosan valmistus perustuu puukuidun keittoon sekä siihen lisättäviin kemikaaleihin. Sellumassa on 90 % vettä. Ainoastaan tuotannon loppuvaiheessa massa kuivatetaan kuljetusta varten. Koko prosessi hankitusta puusta valmiiseen selluarkkiin tapahtuu sähkömoottoreiden voimalla.

Mikään laakeri ei täysin kestä vettä. SKF:n yleissuositus on, ettei öljyssä ole enempää kuin 200 ppm vettä emulgoituneena eikä vapaata vettä saa olla lainkaan. Nopein veden aiheuttama tuho on seisontakorroosio, jossa voiteluaineessa oleva vesi jättää korroosio jäljet alimmille rullariveille. Tietenkin myös tarpeeksi suuri määrä emulgoituneena voiteluaineeseen aiheuttaa vierintäpinnoille kulumista ja lopulta tuhon. Veden aiheuttamia tuhoja on hyvin hankala estää, sillä mikään voiteluaine ei ole täysin veden kestävä. [1]

Olosuhteet on otettava huomioon ennakkohuollossa ja kunnossapidossa. Moottoreista ei voi tehdä täysin suojattuja ympäristön uhkakuvilta. Ne vaativat jatkuvaa seuranta ja huoltoa. Koska prosessi toimii miltei katkeamattomana ketjuna alkutuotteesta loppuvaiheeseen, voi yksikin moottoririkko aiheuttaa prosessin pysähtymisen.

3.2.2 Mekaaniset syyt

Aiemmassa luvussa käsitelimme, että suurin mekaaninen vika moottoreissa oli laakeri-vika. Sähkömoottorivauriot-taulukossa (taulukko 1) ilmenevät sähkömoottorivauriot ajanjaksolta 2002–2009. Taulukkoon on merkattu kaikki vaihdetut moottorit. Moottoreissa käytetään vierintälaakereita, tässä tapauksessa kuulalaakereita. Kuulalaakerin toiminta perustuu kahteen pyörivään elementtiin joiden välissä on metallikuulia. Kuulat vierivät elementtien välissä muuttaen liukukitkan vierintäkitkäksi. Tämä pienentää kitkan määrää huomattavasti. Järjestelmä ei kuitenkaan toimi pelkästään metallipintojen liikkeellä vaan tarvitsee oikeanlaisen voitelun. Voitelu on tärkeä osa laakerin toimintaa ja siksi siihen kannattaa panostaa koska moottorin elinikä on yleensä pidempi kuin laakerin elinikä. Mitä pidemmäksi laakerin elinikä saadaan sitä enemmän moottorista saadaan irti. Jälleen olosuhteet nousevat esiin laakerin voitelussa. [18, s.281-286.]

Voiteluaineen toivottuja ominaisuuksia on:

- voitelukyky
- vaahtoamattomuus
- vähäinen vanheneminen
- hapettuminen
- laadun tasaisuus käytössä. [18, s.74-76.]

Tärkein ominaisuus on kuitenkin viskositeetti eli voiteluaineen sisäinen kitka. Voiteluainetta käytetään liikkuvien osien välisen kitkan pienentämiseksi, välyksien tiivistämiseksi sekä kulumisen estämiseksi. [18, s.74-76.]

Tehdasolosuhteissa tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lämpötilan kesto, vähäinen vanheneminen sekä laaduntasaisuus käytössä. Moottorit ovat ympärivuorokautisessa toiminnassa joten voitelun merkitys korostuu. [23]

Henkilöstön mukaan moottoreiden laakereiden pettämisiin eivät vaikuta lämpötila ja moottorin rasitus, vaan ongelmana ovat laakereiden suojauksen tiiviiden pettäminen. Tällöin pöly tunkeutuu voiteluaineen sekaan ja aiheuttaa kitkan kasvua. Tämä on suurin syy laakereiden tuhoutumiseen. [23]

Toisena yleisenä syynä henkilöstön mukaan oli vesi, joka aiheuttaa myös kitkan lisääntymisen. Kemiallisten ominaisuuksien vuoksi voiteluaine, kuten kaikki rasva on vettä kevyempää jolloin vesi ja rasva eivät pääse yhdistymään. Saattaakin käydä niin, että jokin osa laakerista ei ole enää voitelussa, vaan veden ympäröimänä, mikä kuluttaa laakeripinnat nopeasti käyttökelvottomaan kuntoon. Veden ja kemikaalien vuoksi kaikki automaattisen voitelun piirissä olevat laakerit toimivat ylisytöllä. Tällä pyritään ehkäisemään veden tunkeutuminen laakereihin. [23]

3.2.3 Voitelujärjestelmä

Monin paikoin kohteisiin oli asennettu paineilmakäyttöinen automaattinen voitelujärjestelmä. Suurimmat kohteet olivat kuivauskone yksi ja kaksi, joissa molemmissa on n. 150 moottoria. Järjestelmä oli toteutettu Safematic st1200A, ohjauksella. [23]

Monet olivat edelleen niin kutsutussa käsirasvapiirissä, jossa huoltomiehet hoitavat rasvauksen rasvaprässillä jokaisen kohteen erikseen. Tämä vie suunnattomasti aikaa ja on vaikeaa seurannan kannalta. Enocellin tehtaassa on käytössä n. 2000 – 2500 moottoria joten ymmärrettävästi suuntana on automaattinen järjestelmä. [23;25]

3.2.4 Voiteluaineet ja laakerit

Moottoreiden laakereissa käytetty rasva oli Mobilux EB2. Kyseisen rasvan ominaisuudet on todettu riittäviksi olosuhteisiin. Vikojen syyksi ei ollut uskottu voiteluaineessa olevaa virhettä. Korkeimmat lämpötilat käytössä olivat noin 90 astetta. Rasvan kulutuksen esimerkkinä otetaan kuivauskone kaksi. Kohteeseen toimitettu 200 kg tynnyri kestää n.4kk. [23]

Valmistajan lupaamat arvot ja ominaisuudet ovat seuraavaa: litiumhydroksistearaattinen rasva, joka on muotoiltu antamaan ylimääräistä suojaa kulumista, ruostumista sekä vettä vastaan. Kyseistä rasvaa suositellaan käytettäväksi teollisuuden sovelluksissa, joissa laitteet joutuvat kosketuksiin kosteuden kanssa. Käyttölämpötila on -20 ja +130 asteen välillä. Valmistaja lupaa hyvän suojelun korroosiota ja vettä vastaan sekä lupaa, että rasva säilyttää voitelukykyänsä myös veden läsnä ollessa. [9]

Suurin osa käytettävistä laakereista oli SKF:n laakereita. Pienemmän osan toimittaa FAG (Fischers Aktien-Gesellschaft). Kohteessa käytetään vain näitä kahta laakeri valmistajaa, joista SKF:n laakereita käytetään melkein jokaisessa moottorissa. Pieni osa joihinkin erikoiskohteisiin käytetään FAG laakereita. [14]

3.2.5 Puhdistus ja jäähdytys

Kohteessa tarkastellut sähkömoottorit olivat kaikki oikosulkumoottoreita. Moottoreille on erityisen tärkeää että saatavilla on jäähdytysilmaa. Niiden ainoa ilmanvaihtaja oli moottorissa itsessään oleva tuuletin. Uusissa alumiinista valmistettavissa koneissa moottorin jäähdytystä on pienennetty eli tuuletin ja tuuletinpesä on pienennetty. Moottoreita käytetään silti samoissa olosuhteissa ja samoilla kuormilla kuin vanhoja rautakuorisia, suuremmalla tuuletus ratkaisulla tehtyjä moottoreita. Osastoja ja konetiloja on toteutettu ilmanvaihdolla joka pyrki antamaan ympäristölle viilentävää ilmaa sekä poistamaan kuumaa ilmaa huoneistosta. Käytössä oli mm. huippuimureita kattoratkaisuna. Ilmanlämpötila sekä ilmassa leijuva pöly ovat suuri haaste moottoreille. [17;24]

3.2.6 Huolto ja seuranta

Moottoreiden huolto oli toteutettu ennakoivana huoltona eli tilanteita seurattiin käytävissä olevien resurssien mukaan. Jokaisella seisokkikerralla, jotka kestävät yli vuorokauden, moottorit pyritään huoltamaan tarkemmin. Esimerkiksi pölynpoisto tapahtui imuroimalla moottorit kohteessa eli tuuletin osa ja jäähdytysurat sekä moottorin ympäristö puhdistetaan. Tämä on tärkeä seikka moottorin eliniän kannalta. [24;25]

Kunnossapidon työntekijät huoltavat moottorit muun työn ohessa. Konepuolen huollossa toimii kaksi henkilöä. Sähköinen kunnossapito hoitaa oman teknisen huoltamisen, korjaamisen ja seurannan. Kohteessa ei ollut omaa kehitysteknikkoa tai insinööriä joka hoitaisi ja suunnittelisi yksinomaan sähkömoottoreiden toimintaa. Tehtävät oli jaettu jo olemassa oleville nimikkeille ja huoltomiehille, jotka hoitavat asiaa muiden töiden lomassa. Ottaen huomioon moottoreiden suuren määrän sekä niiden arvon prosessille tarvitsisi se enemmän syvempää ja tarkempaa seurantaa kuin nyt olemassa oleva järjestelmä antaa mahdollisuuksia. [17;24;25]

Sähköinen seurantajärjestelmä perustui SAP-järjestelmään, joka toimii koko Stora Enson organisaatiossa. Se mahdollistaa moottoreiden seurannan kaikissa yksiköissä. Tämä mahdollistaa myös moottorien lainauksen muille yksiköille tai vastaavasti tilauksen Enocelliin. SAPin rinnalla kulkee varmistettuna mallina Excel-tilaukset kaikista moottoreista, niiden historiasta ja käyttökohteista. [25]

Molemmat järjestelmät täydentävät toisiaan, mutta aiheuttavat myös monia ristiriitoja. Järjestelmään merkataan moottori sen omalla niin kutsutulla sosiaaliluvulla eli laite-tunnuksella, joka Uimaharjussa on muotoa UH682-342. Tämän numeron avulla voidaan jäljittää korvaava moottori rikkoutuneen tilalle. Järjestelmä ehdottaa laitetunnuksen perusteella kohteeseen soveltuvaa moottoria, mutta järjestelmä ei huomioi kuin sähköteknilliset ominaisuudet. Käyttäjän tulisi selvittää myös moottorin fyysiset ominaisuudet, kuten kytkentäkopan malli sekä jalan kiinnitystapa. Järjestelmään oli kirjattuna kyseiset ominaisuudet mutta niiden huomioiminen jää käyttäjälle. Tarkkuudella sekä tietämyksellä vältetään turhaa työtä ja säästetään aikaa. [23;26]

Seurantajärjestelmän ylläpito oli ohjattu yhdelle henkilölle, joka kuitenkin hoitaa monia muitakin toimia. Tämä aiheuttaa aika-ajoin puutteita tilastoissa koska monesti kentältä tullut tieto jää pöydälle odottamaan käsittelyä. Järjestelmä ei siis ole aivan paikkansa pitävä. [25]

Huolto suunnitellaan SAPin avulla. Järjestelmään oli kirjattu huoltovälit eri kohteille sekä määrät. Työnjohtaja tulostaa listat joiden mukaan kunnossapidon työntekijät huoltavat koneet. Tässä kohtaa kompastuskiveksi nousee järjestelmän päivitettävyyden. Hyvä kierto huollossa vaatisi toimivan seurantajärjestelmän. [23]

4 TULOKSET

4.1 Laitteistoparannukset

Seuraavaksi esittelemme laitteisto parannuksia, jotka edesauttavat käynninaikaista huoltoa sekä ennakoivaa huoltoa ja seuranta. Oikeaoppinen käyttö ja seurannan ylläpito tuovat tarkkuutta ja ennaltaehkäisevää työtä.

4.1.1 Moottorisuojaukset

Enocellin tehtaaalla oli käytössä lämpöreleen ja termistorin yhdistelmä suurimmassa osaa pienjännitemoottoreissa. Lämpörele on perinteisempi ratkaisu moottoreiden suojaukseen. Se estää moottori vahingon vikaantumistilanteessa mittaamalla virran suuruutta (s.27). Näin ollen vikatilanteessa moottoria ei saada tuhottua toistuvilla uudelleen käynnistyksillä. Releen kuittauksesta tulisi jäädä tieto historiaan, jolloin vika voitaisiin tutkia myöhemmin, mikäli rele laukeaa toistuvasti. Lämpörele on yksinkertainen ja toimiva suojaustekniikka oikein asennettuna ja käytettynä.

Moottorinsuojarele on erinomainen apuväline, kun halutaan estää vahingot moottorin vikaantumistilanteissa. Näin ollen olisi suositeltavaa, että kaikki yli 1kV sähkömoottorit suojattaisiin moottorinsuojareleillä. Olisi hyvä myös, jos tärkeät pienjännitekoneet suojattaisiin myös moottorinsuojareleillä. Käyttöhenkilökunnalta tulisi selvittää, mitkä ovat prosessin kannalta kaikista tärkeimpiä ja kriittisempiä moottoreita, joiden hajoaminen aiheuttaa suuria tappioita, ja samalla tulisi harkita moottorinsuojareleen investointia näihin koneisiin. Hyvin aseteltu moottorinsuojarele rajoittaa vahingon tehokkaammin moottorin vikaantumistilanteessa, kuin perinteinen lämpörele. Uudet nykyaikaiset moottorinsuojareleet perustuvat mikroprosessoritekniikkaan, joissa logiikka valvoo moottorin jatkuvia lämpötilavaihteluita. Releiden perustetuessa mikroprosessori tekniikkaan, on niiden käyttö tarkkaa ja häiriötöntä. Moottorinsuojarele on paras mahdollinen suojaratkaisu tilanteissa, joissa moottoria pitää suojata kattavammin ja tarkemmin kuin mihin

perinteinen lämpörele pystyy. Moottorinsuojareleellä saavutetaan parempi moottorin elinikä ja moottorikoon optimointi kuin perinteisellä lämpöreleellä. Samalla moottorinsuojarele auttaa huoltotöiden suunnittelussa ja auttavat suojaamaan moottoria myös mekaanisilta vaurioilta. [5]

ABB:lta löytyy kaksi mainiota vaihtoehtoa moottorinsuojavaihtoehtoiksi, pienjännitekoneille suunniteltu SPEM-rele ja suurjännitekoneille SPAM 150C-moottorinsuojarele. Näiden suojaustoiminnot, ovat esitelty teoria osuudessa sivuilla 27–29.

4.2 Parannukset käynninaikaiseen kunnonvalvontaan

Tärkeimmät parannukset koskevat resurssien uudelleen organisointia tai työvoiman hankintaa. Tämän hetkinen resurssivaje tuottaa vaikeuksia pitkällä tähtäimellä. Ylikuormitetut resurssit näkyvät eritoten tekemättöminä töinä, mutta myös negatiivisena työilmapiirinä, joka laskee tuottavuutta huomattavasti.

Ensisijainen parannus olisi palata askel vanhaan järjestelmään ja keskittää 1-2 henkilöä päivävuoroon ennakoivan kunnossapidon piiriin täysimääräisesti, jolloin työkuvaan kuuluisi ainoastaan moottoreiden kunnonvalvonta. Keskittämällä osaaminen pienelle, mutta asiaan keskittyneelle ryhmälle saavutettaisiin hyvin toimiva järjestelmä moottoreiden ylläpitoon. Ryhmän tehtävän laajuus sisältäisi enakkohuollon eli osastoilla kiertämisen ja seurannan sekä kaiken kirjanpidon tapahtumista. Tällä saavutettaisiin selkeämpi ja ajan tasalla pysyvä seurantajärjestelmä moottoreiden toimenpiteistä sekä varastoinnista.

Tämän hetkinen ajattelumalli moniosaavasta työntekijästä ei välttämättä sovellu jokaiseen toimintaympäristöön. Keskitetty hallinta ja tieto parantavat toimialueen tehokkuutta ja nopeuttavat prosessia. Näin vältetään turhilta kuluilta tuotannossa monien osalueiden summana.

Tutkiessamme järjestelmän kokoonpanoa on yllättäen noussut esille epäkohtana vuorokorjausryhmän puuttuminen. Muiden Efora Oy:n yksiköiden toiminnasta löytyy vuorokorjausryhmä. Tämä mahdollistaa ympärivuorokautisen seurannan ja ylläpidon. Tämä olisi eräs vaihtoehto resurssipulaan, ottamalla käyttöön vuorokorjausryhmä tai toteuttaa keskitetty päivähuoltoryhmä moottoreiden kunnossapitoon. [13]

Monesti työvoiman palkkaaminen katsotaan kalliiksi ja yksiköitä pyritään pyörittämään optimaalisella miehistöllä. Sellutehdas ympäristönä on rakennettu miltei kokonaan pyörimään sähkömoottoreilla. Tuotantokatkokset ja uusien laitteiden eli moottoreiden hankinta ovat vuositasolla kuitenkin suuri summa pois liikevoitosta. Ajatellaan, jos 80:tä tilastoidusta moottoririkosta jo yhdenkin moottorin aiheuttama tuotantokatkos saataisiin vältettyä, tällä hyödyllä saataisiin maksettua yhden huoltomiehen vuosipalkka, joka hoitaisi ainoastaan moottoreiden huoltoa. Tietenkin esimerkki on huono ja suuntaa antava, sillä niihin vaikuttavat monet eri tekijät ja laskentatavat.

4.3 Kunnanvalvonnan mittalaitteet

Kunnanvalvonnan toteuttamiseen on nykyään paljon saatavilla erillaisia elektronisia mittalaitteita. Seuraavaksi käsitellään muutamaa mittalaitetta, joilla voitaisiin saavuttaa parempia tuloksia kunnanvalvonnassa.

4.3.1 SKF Marlin I-Pro

Erittäin hyvä päivitys entiseen laitteistoon, joka Enocellillä on ollut käytössä tähän päivään mennessä. Kuten teoria osuudessa s.30 olemme käsitelleet on Marlin I-Pro kulu- neen talven aikana saapunut osaksi kunnanvalvontaa Uimaharjussa. Sen mittaus- ja seurantaominaisuudet ovat hyvät ja parantavat varmasti ennakoi-vaahuoltoa. Mittalaite on tullut osana suurempaa yhteistyö sopimusta SKF:n kanssa, joten kokonaisuutena yhteis-työsopimus on erittäin hyvä lisä jo olemassa olevaan järjestelmään.

4.3.2 SKF TKED 1 - Sähköpurkausdetektori

Tutkimusten ohessa nousi esille ettei kohteessa toteuteta säännöllistä laakerienvirtamittausta. Pääosin ajan ja resurssi pulan vuoksi. Laakerivirtamittaukset ovat kuitenkin tärkeä osa moottorin kunnonvalvontaa koska nykyään yhä useampi sähkömoottori toimii taajuusmuuttajan kanssa. SKF tarjoaa ongelmaan helpon ratkaisun. TKED 1 – sähköpurkausdetektori on pieni käsilaite, joka kulkee helposti henkilöstön mukana ja mittaaminen on helppoa s.31. Käyttö ei vaadi perehdyttämistä eikä sähkötekniistä koulutusta. Kaikin puolin erinomainen ratkaisu vallitseviin olosuhteisiin.

4.4 Parannukset seisokin aikaiseen huoltoon ja toimintaan

Enocellin käyttöhenkilökuntaa ja sähkökorjaamon henkilöstöä haastateltaessa esiin nousi, että tehtaassa ei seisokeissa tehdä sähkömoottoreille juurikaan tarkistuksia ja mittauksia. Tähän syynä ovat tehtaassa tällä olevat rajalliset resurssit, jolloin tarkempia mittauksia ja tarkistuksia ei moottoreille ennetä tehdä. Näillä mittauksilla ja tarkistuksilla saataisiin pidennettyä moottoreiden elinikää ja käytettävyyttä ja samalla parannettua niiden käyttöastetta entisestään. Monesti ennakoivilla huolloilla saataisiin vältettyä suuremmat vauriot, kun ongelmat huomattaisiin monesti jo hyvissä ajoin.

Pienjännitekoneille tehtävät tarkistukset rajoittuvat lähinnä käämivastuksen mittaamiseen ja lämpöreleen kojeistamiseen sekä syöttökaapelin eristysvastusmittaukseen. Suurjännitekoneilla kannattaa tehdä PD-mittaus (osittaispurkausmittaus) ja häviökulman määrittäminen. PD-mittauksia voidaan tehdä suurjännitekoneille myös käynnin aikana. Moottorin ollessa käynnissä tarkistetaan kuormitusvirrat. [15; 16]

Moottorisuojareiden laajentaminen pienempiin moottoreihin toisi enemmän suojaustoimintoja kuten I^2t -suojaus, vinokuormitussuojaus (pienemmissä koneissa vinokuormitussuojauksen hoitaa sulake). Moottorisuojareleellä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi

käynnistymisyritysten rajausta. Useat käynnistyskerrat peräjälkeen rasittavat moottoria eniten. [4; 5]

Suurjännitekoneiden syöttökaapeleiden eristysvastukset täytyisi mitata ennen moottorin käyttöönottoa, samalla mitataan moottorinkäämien vastukset. Isoissa moottoreissa moottorisuojareleellä pystytään toteuttamaan lämpösuojaus eli moottoria ei pystytä polttamaan. [2; 4; 5]

Suurjännitekoneille seisokeissa suositellaan tehtäväksi seuraavat mittaukset staattorille:

- käämien vastusmittaukset
 - eristysvastusmittaukset
 - tan delta mittaus (häviökulmamittaus, joka kertoo eristyksen ikääntymisen)
 - off-line PD-mittaus (osittaispurkausmittaus, joka suoritetaan moottorin ollessa irti verkosta)
 - roottorille suurjännitekoneissa tulisi tehdä eristysvastus- ja vastusmittaukset.
- [15; 16]

Häviökulmamittaus suoritetaan siihen tarkoitettulla mittalaitteella, joita löytyy useimmilta eri valmistajilta esimerkiksi Meggerilta. Mittalaitteella mitataan sähkömoottorin käämityksen ja rungon eristeiden kuntoa. Mittalaite määrittää eristeen vanhenemisen ja eriste pystytään vaihtamaan ennen eristysvian syntymistä. [16]

Moottorille tehtäessä tarkempaa tarkistusta vedetään roottori ulos staattorista jolloin voidaan tehdä seuraavat mittaukset ja tarkistukset:

- staattorin kiilauksen tarkastus

- teräspaketin mittaus (ElCid mittaus), jolla tarkastetaan peltipaketin peltienvälisen eristyksen kunto, joka voi aiheuttaa lämpenemistä staattorissa
- käämien silmämääräinen tarkastus (onko käämien tuenta kunnossa, onko esiintynyt tärinää)
- roottorin silmämääräinen tarkastus. [15; 16]

Pienjännitekoneille tulisi tehdä seisokissa eristysvastusmittaukset ja käämien vastusmittaukset. Kuitenkin kaikissa mittauksissa tulisi ottaa huomioon moottorin tärkeys prosessissa, koko ja arvo. [15; 16]

4.4.1 Moottorisuojien kuittaukset

Moottorin lämpörelettä kuitattaessa, pitäisi jäädä tieto historiaan, kuinka monta kertaa kyseisen moottorin lämpörele on kuitattu. Moottorin historiaan tulisi jäädä kaikkien suojalaitteiden kuittaukset esimerkiksi moottorisuojareleen kuittaus. Tällöin olisi huomattavasti helpompaa selvittää moottorin rikkoontumiseen johtavia syitä. Esimerkiksi, jos moottorin lämpörelettä joudutaan kuittaamaan useasti, tulisi selvittää onko prosessissa tapahtunut jotain muutosta. Osaavatko operaattorit ajaa moottoria oikein? Jos halutaan saada tietoa siitä, mikä johtaa jonkin moottorin rikkoontumiseen, täytyy kerätä paljon tietoa siitä. Kaikki pienimmätkin työt täytyisi raportoida ja kirjata SAPIin. Tässä tilanteessa täytyisi sopia yhtenäisesti kuinka vikailmoitukset kirjataan kaikkialla. Esimerkiksi tähän voisi auttaa, että vikailmoitukset kirjattaisiin moottorille suoraan, samoin myös kun vika on saatu selvitettyä ja korjattua.

4.4.2 Henkilöstön organisointi

Haastattelujen tuloksena nousi esille ongelmakohtia järjestelmän toimivuudesta. Osamisryhmittymien välinen tehtävän rajausta täytyisi olla selkeämpi tai ryhmittymien täy-

tyisi laajentaa koulutustaan toisten ryhmien osaamisalueille. Esimerkkinä nousi esille moottorin vaihto, jossa uuden moottorin etsintä SAP-järjestelmästä tuottaa vaikeuksia. Moottoreita on käytössä edelleen vanhoja sekä uusia joiden sähkötekniilliset ominaisuudet ovat täysin samat mutta fyysisesti laite on erilainen. Suurin fyysinen eroavaisuus on kytkentäkopassa, joita on muutamia erilaisia. Nämä erot ovat kuitenkin kirjattuna SAPiin, moottorin ominaisuuksiin. Kaikkien täytyisi siis osata huomioida moottoria etsiessään muutakin kuin sähkötekniillisten ominaisuuksien vastaavuus. Väärä kotelotyyppi aiheuttaa ylimääräistä työtä sähkömiehelle, mikäli kytkentä johdot joudutaan rakentamaan uudelleen tai uuden moottorin rahtaamista varastosta kentälle ja takaisin. Tämän työn lopussa on ohje sähkömoottoreiden käyttöönottoon (Sähkömoottoreiden käyttöönotto-ohje s.59).

Uuden moottorin etsintä pitäisi jättää niille jotka ovat koulutettuja työhön. Näin säästettäisiin aikaa, joka kuluu ylimääräiseen työhön. Oikea organisointi, omaan osaamiseen suunnattuna, takaa mutkattoman yhteistyön ja nopean työskentelyn.

4.4.3 Kunnossapidon yhteistyökumppani

Talven 2010 - 2011 aikana solmittu yhteistyö sopimus SKF:n kanssa siirtymisestä SKF:n laitekantaa ja koulutukseen olikin parannusehdotuksissamme. SKF on johtava kunnossapidon seuranta ja mekaanista osaamista tarjoava yritys. Ennestään miltei kaikki moottoreissa käytettävät laakerit ovat olleet SKF:n valmistamia. Uuden yhteistyön myötä saadaan käyttöön laaja tietämys nykypäivän kunnossapidosta sekä valtaisa markkinajohtajan kokemus SKF:ltä. [14;23]

SKF:n laitteen kunnonvalvontaan helpottavat seuranta ja sitä voi toteuttaa kuka tahansa lyhyen perehdyttämiskoulutuksen käynyt henkilö. Näin saadaan helposti toimiva järjestelmä ennakoivaan kunnossapitoon, huomioiden resurssien oikeanlainen organisointi. Ehdotuksia uusiksi mittalaitteiksi olemme kirjanneet jo aikaisemmin osioon Kunnonvalvonnan mittalaitteet s.40.

4.5 Laakerivirtojen välttäminen

Suuritaajuisiin laakerivirtoihin voidaan vaikuttaa merkittävästi neljällä eri tavalla:

- taajuusmuuttajakäyttöön suunnitellulla kaapelilla
- kunnollisella maadoituksella
- suurtaajuisen yhteismuotoisen virran vaimentamisella
- laakerivirtapiirin katkaisemisella. [11; 12]

Näiden tavoitteena on alentaa laakereihin muodostuva jännite sellaisiin arvoihin, että ne eivät synnyttäisi suuritaajuisia jännitevirtapulsseja, tai ainakin pyritään vaimentaman pulssien arvo sellaiselle tasolle, että muodostuneesta virrasta ei ole haittaa laakeroinnille. [11; 12]

Vahinkojen välttämiseksi ja laakerivirtojen esiintymistiheyden välttämäksi, on varmistettava sähkömoottoreiden kunnollinen maadoitus. Oikeanlaisella maadoittamisella voidaan välttää etenkin nopeussäädetyissä käytöissä se, että hajavirrat eivät purkaudu vaihtosuuntaajan runkoon suoraan moottorin laakeroinnin kautta. Etenkin taajuusmuuttaja käytöissä on kiinnitettävä suurta huolellisuutta ja tarkkaavaisuutta, että käytetään siihen tarkoitettua kytkentä moottorikaapelia. Taajuusmuuttaja käyttöihin tulee käyttää symmetrisiä moottorikaapeleita, jotka ovat häiriösuojattuja. Tällä voidaan ehkäistä tarpeettomien hajavirtojen muodostumisia. Jo olemassa oleviin taajuusmuuttaja käyttöihin, joissa ei ole käytetty häiriösuojattuja kaapelia voidaan käyttää vaihtosuuntaajan asennettavaa lähtösuodinta. Laakerivirtojen reitit voidaan katkaista moottorin laakerirakenteen eristämällä. [11; 12]

On tärkeää myös huolehtia mahdollisimman lyhyestä virran paluureitistä taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajaan. Tämä kannattaa toteuttaa käyttämällä suojattua moottorikaapelia. Moottorikaapelin suoja on vietävä yhtenäisenä moottorilta vaihtosuuntaajalle. Läpi-

viennin kohdalla on tehtävä 360 asteen maadoitus ja suojajohdin maadoitetaan pannan avulla runkoon, (kuva 3) tai viedään lyhyenä maadoitus liittimeen jokaisessa kaapelin katkeamiskohdassa. Kunnollisella maadoittamisella pyritään estämään, että syntyvät hajavirrat eivät palautuisi vaihtosuuntaajan maahan suoraan moottorin laakeroinnin kautta. Maadoituskytkentöjä kannattaa lisätä laitteen ja maatasojen välille potentiaalin tasaamiseksi. Näissä kytkennöissä kannattaa käyttää 50 – 100 mm kuparipunoksia. [11; 12]

4.6 Ennakoiva huolto

Moottoreiden toiminnan parantamiseen on olemassa monia parannuksia. NykYTEkniikka on kehittynyt ja varsinkin ennakkohuollon seurantaan on tuotu markkinoille monia teknisiä apuvälineitä, joita voi käyttää ilman laajaa koulutusta sähkötekniikasta tai mekaniikasta.

Suurimmat parannukset koskevatkin juuri ennakkohuoltoa. Toiminnan aikainen seuranta ja huolto sekä niihin varatun henkilöstön organisointi ja keskittäminen ovat helpoimpia ratkaisuja ennalta ehkäisemiseen. Mekaaniset ongelmat kuten voiteluaineet tai laakereiden rakenteet ovat markkinoilla vallitsevan tarjonnan armoilla. Täytyy myös huomioda tällä hetkellä olevien rasvojen ja laakereiden laatu sekä verrata sitä uusista laakereista saatavaan hyötyyn.

4.6.1 Voiteluaineet ja niiden käyttö

Nykyään markkinoilta löytyy voiteluaineita jokaiseen tarkoitukseen. Tekniikka ja tutkimustyö ovat edesauttaneet rasvojen ja öljyjen jalostamisessa kohti moninaisempaa käyttöskaalaa. Tärkeintä tuotetta valittaessa on syytä verrata hintaa ja sitä kautta saavutettavaa hyötyä.

Tämän hetkinen käytössä oleva voiteluaine on Mobilux EB2. Aikaisemmin olemme käsitelleet kyseisen voiteluaineen ominaisuudet s.32. Mobilin antamien tuotetietojen avulla voidaan todeta että käytössä oleva voiteluaine on olosuhteisiin sopiva. Tehtaan ympäristössä kovimmat lämpötilat sijaitsevat kuivauskoneella, mikäli voimalaitoksen polttoa ei lasketa. Kuivauskoneella lämmöt ovat n. 90 astetta. Mobilux EB2:lle on luvattu toiminta lämpötila välillä -20 - +130 astetta, joten sisäkäytössä olevat moottorit sopivat hyvin tähän skaalaan. Voiteluaineen muuttamisella eri valmistajaan tai tuotteeseen ei siis toisi merkittäviä parannuksia.

Voiteluaineiden käyttö kohteessa on oltava oikea. Liian vähäinen, mutta myös liiallinen rasvan käyttö huonontaa laakereiden toimintaa. Voiteluaineiden annostelu on haastattelun mukaan aikoinaan tehtaan entisen työntekijän luoma järjestelmä. Järjestelmä sinänsä ei ole muuttunut miksikään, mutta annos ja aikataulutus toiminnot olisi syytä miettiä nykypäivän tietojen tasalle. [24]

4.6.2 Laakereiden valinta kohteeseen

Laakerityypin valintaan vaikuttavat monet eri tekijät kuten akselikoko, kuormitus, olosuhteet, pyörimisnopeus, kulmavirheen mahdollisuus jne. Valinta on joskus hyvinkin yksilöllistä ja paikkakohtaisesti tarkkaan harkittavissa niinpä mitään yleisohjetta tai suositusta tiettyyn kohteeseen on vaikea antaa. [1]

Lipeän ja pölyn ehkäisyyn ei ole luotu täydellistä suojaa. Ainoa tapa on keskittää huomio laakerin suojaukseen. Suojautua voi esimerkiksi käyttämällä kontaktitiivisteillä varustettua laakeria tai avointa laakeria. Avoimen laakerin tapauksessa täytyy kuitenkin muistaa huolehtia jälkivoitelun toimivuudesta. [1]

On olemassa myös erikoisvalmisteisia laakereita mutta niitä täytyy soveltaa tapauskohtaisesti. Näiden ongelmana on kallishinta. Edelle mainittuihin olosuhteisiin ehdotettuja erikoislaakereita ovat:

- solid oil, jossa laakerin tyhjä tila on täytetty polymeeri matriisilla, joka luovuttaa öljyä vierintäpinnoille
- hybridilaakeri, jossa keraamiset kuulat murskaavat epäpuhtaudet vierintäpinnoilla ja näin ollen pitävät ne puhtaampina
- NoWear, pinnoitetut laakerit, ehkäisee laakerin kulumista
- tiivistetyt pallomaiset rullalaakerit jotka ovat hyvä ratkaisu, paitsi, että niitä voidaan käyttää vain pienillä pyörimisnopeuksilla
- korrosoiviin ympäristöihin tarkoitettuja y-laakeriyksiköjä (kuulalaakeri yksikö) ja nivelvarsia. [1]

Edellä mainittuja käytetään yleisemmin elintarviketeollisuudessa. Näissä laakereissa on komposiittipesät ja ruostumattomat laakerit. [1]

4.6.3 Huolto

Huolto ja varsinkin ennakkohuolto pitäisi keskittää pelkästään sähkömoottoreihin eli toimintaan varata oma huoltomies sekä seuranta hoitava henkilö. Huoltohenkilöstön ja seurantajärjestelmän välille olisi saatava tehokkaampi toimintamalli. Tähän kuuluvat henkilöstö- ja toiminta-alueet, seurantajärjestelmän toimivuus sekä päivitettävyyys.

Työn ohessa on liitteenä (liite 3) esitätetty IRKY-ilmoituslomake, joka on tehty PDF muotoon. Tämä mahdollistaa nopeamman lomakkeen täyttämisen moottorin irrotuksen yhteydessä.

4.6.4 Seuranta

Laakerin toiminnan seuraus ja kehitys on tärkeä ennakkotoimi moottorin pitkäaikaisen toiminnan kannalta. Paras tapa säästää kuluissa on poistaa ennakoimattomat seisokit

tuotannossa. Tähän päästään hyvällä seurannalla ja auttavalla huollolla käynninaikana jolloin hajoava moottori saadaan hallitusti ajettua suunniteltuun seisokkiin. [19, s.46-49.]

Mekaanisen kunnossapidon kannalta laakeri on moottorin heikoin kohta. Yksi tärkein laakerin toiminnan seuraamista auttava tekijä on lämpötilan mittaus. Lämpötila kertoo suoraan moottorin kuorman. Moottorin kuorma tulee laakerin kautta, mikäli voitelussa on yli- tai alivoitelua tai kun rasva vanhenee. [19, s.46-49.]

Rasvojen huolimaton sekoittaminen tuon varmasti tulevaisuudessa vahinkoja. Olisi aina suotavaa, että ensiasennusrasva ja käytönaikana lisättävä rasva olisivat yhteensopivia. Vaikkakin seurannan ohjenuorana voidaan pitää, että lämpötilan nousu laakerissa tarkoittaa voitelun puutteellisuutta, ei loputon rasvan lisäys poista ongelmaa. Jos rasvan lisäys ei laske lämpötilaa täytyy tutkia rasvan poistumiskanavoiden tila. Usein vanha rasva on tukkinut poistumisaukon tai asennusvaiheessa poistoaukko on unohdettu avata. Tällöin rasvan lisäys tuottaa laakerille vain suurempaa kuormaa. [19, s.46-49.]

Yleisiä laakerin tuhoutumiseen johtaneita syitä ovat myös liian kireä hihna sekä akseli-kytkin käytössä väärin suoritettu rihtaus. Nykypäivänä myös lisääntyneet taajuusmuuttaja käytöt ovat tuoneet laakerivirrat suureksi huolenaiheeksi. [19, s.46-49.]

Eräs seurantakeino moottorin mekaaniselle vikaantumiselle on kasvava virran kulutus. Kuorman kasvaessa virrankasvun voi nähdä taajuusmuuttajan näytössä olettaen, että normaali tason virtojen suuruus tiedetään ja saadaan vertailukohde. [19, s.46-49.]

4.7 Sähkömoottoreiden puhdistusohje

Sähkömoottorin toiminnan kannalta tärkeintä on huolehtia moottorin jäähdytyksestä sekä sen toimintaympäristön siisteydestä. Sellutehtaan luoma toimintaympäristö on

erittäin epäedullinen paikka sähkömoottorille. Kuiva-aineet kuten massa, pöly ja muu liki aiheuttavat haasteita moottorin jäähdytykselle tukkimalla jäähdytysurat sekä säleiköt. Kosteus, vesi ja kemikaalit vaurioittavat käämien eristystä. [21]

Moottoreiden oma suojausluokka toimitiloissa on yleensä IP55 (International protection, kotelointiluokka). Tämä tarkoittaa että laite on suojattu pölytiivisti ja roiskevedenpitävästi. Laitetta ei saa siis pestä vedellä eikä varsinkaan paineistetulla vedellä, tämä vaatisi vähintään suojausluokan IP56. Nestemäisiä aineita vastaan kohteessa on suojaus paranneltu tekemällä moottoreiden päälle lasikuitu saketti (kuva 9). Tämä suojaa jäähdytysuria sekä jäähdytyssäleikköä hieman enemmän ylhäältä tulevilta roiskeilta ja epäpuhtauksilta. Se ei kuitenkaan suojaa laajoilta ylikadoilta tai vaurioilta jotka tapahtuvat moottorin peittyessä epäpuhtauksiin esimerkiksi putkivuoto. [21]



Kuva 9. Lasikuitu saketti

Mikäli moottori ei saa tarpeeksi jäähdytystä tai kosteus ja kemikaalit kylvettävät laitetta, tuhoutuu se erittäin nopeasti käyttö ja jopa korjauskelvottomaan kuntoon. Tämä voi aiheuttaa jopa tuotantokatkoksia, mutta ainakin ylimääräistä työtä. [21]

Kaikki osastoilla liikkuvat henkilöt voivat ilmoittaa pahasti likaantuneista moottoreista sähkökorjaamolle tai suorittaa puhdistuksen näiden ohjeiden avulla. Tämän ohjeen avulla jokainen voi suorittaa pikapuhdistuksen huomatessaan osastolla likaantuneen moottorin. [21]

4.7.1 Suojaus

Sähkömoottorin puhdistusta aloitettaessa tulisi huomioida työn laajuus. Mikäli työ vaatii moottorin suojauksien purkamista, kuten tuuletinkopan irrottamista, vaatii se koneen pysäyttämistä, ilmoituksen valvomoon sekä vahinkokäynnistyksen eston. Työn valmistuttua toimi käännettyssä järjestyksessä ja ilmoita valvomoon. [21]

Päältäpäin tehty puhdistus ei vaadi toimenpiteitä edellä mainitulla tavalla. Jäähdytysurat ja säleiköt voidaan puhdistaa koneen ollessa käynnissä. Tuuletinkopan sisään ei saa mennä työskentelemään käynninaikana. [21]

Työt vaativat asianomaisen työvarustuksen: hengityssuojaimen, suojakäsineet, turvakengät, suojalasit, suojakypärän sekä asian mukaisen suojavaatetuksen. [21]

4.7.2 Työvälineet

Työvälineet moottoreiden puhdistukseen löytyvät automaatiokorjaamon työkaluvarastosta, pahvilaatikkoon sijoitettuna. [13]

Pahvilaatikosta löytyvät (kuva 10) seuraavat työvälineet:

- iso- ja pieni pulloharja
- kaksi kappaletta lastoja

- kaksi kappaletta tavallisia käsiharjoja
- muoviluuta.



Kuva 10. Puhdistusvälineet.

Puhdistusta edesauttamassa ovat nykyään myös paineilma ja pölynimurit. Veden käyttö ei ole suositeltavaa, mutta jos kohde vaatii vettä kuten kemikaalien tai lipeän vaikutuksesta, täytyy pesu tehdä käynnissä ollessa, kohteessa ei saa myöskään käyttää paineistettua vettä! Veden käyttö täytyy minimoida ja moottori täytyy kuivata puhdistusräteillä heti pesun yhteydessä. Käynnissä oleva moottori edesauttaa kuivausta koska jäähdytysilma kulkee moottorin pintaa myöden. Veden käytössä nopeus on valttia! [21]

4.7.3 Puhdistus

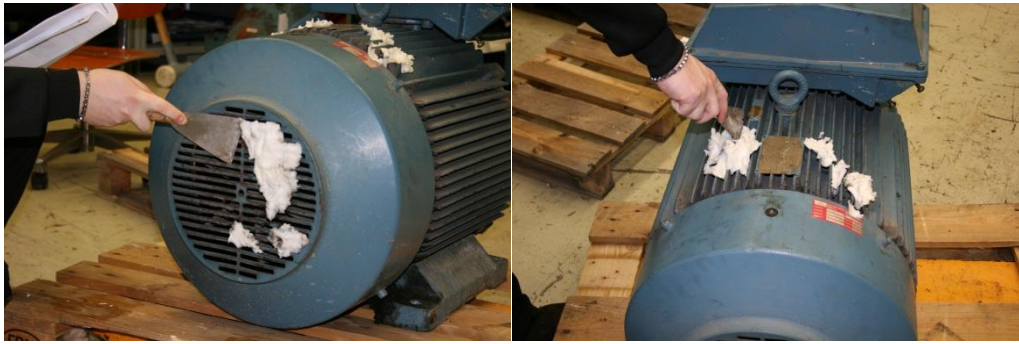
Moottorin kannalta tärkeimmät puhdistuskohteet ovat jäähdytysurat, puhallinsäleikkö sekä niiden välinen aukko. Pikapuhdistuksella toteutetaan edellä mainitut kohdat. Puhallinkopan säleikön voi puhdistaa kuivuneesta massasta suojakäsineellä tai muulla tilanteeseen sopivaksi katsotulla työvälineellä. Jäähdytysurien välit voidaan aukaista ruuvi-

meisselillä tai muulla kädenulottuvilla olevalla, tehtävään soveltuvalla työkalulla. Muista varoa maalipintaa! Ripojen täytyy olla auki puhaltimen siivelle saakka eli puhallinkopan alle ulottuvien ripojen syvennykseen. Jäähdytysurien välejä puhdistettaessa puhallinkopan alta täytyy ehdottomasti varoa, ettei työkalua viedä puhaltimen siivelle asti. Siipi on muovia ja rikkoutuu erittäin helposti. Siipi voi olla metallinen, jolloin osuma työkaluun voi aiheuttaa jopa hengenvaaran nopeasti lentävän esineen muodossa. Terve järki, varovaisuus ja kiireettömyys hetken ajaksi takaavat hyvän huollon. Mikäli kohteessa havaitaan suurempia likaisuuksia tai muita haittavaikutuksia moottorin toiminnalle, täytyy asiasta tehdä ilmoitus sähkökorjaamolle. [21]

4.7.4 Pikaopas

Tämä toiminto on tarkoitettu pintapuolista ja nopeaa, mutta moottorin eliniän kannalta erittäin tärkeää toimitusta varten. Moottorin tärkein toiminnan kannalta oleva asia on jäähdytys. Mikäli osastolla huomataan lievästi massasta tai pölystä tahriintunut kone, jonka jäähdytysurat ovat menneet tukkoon, jolloin moottorin puhdistus suoritetaan alla olevan ohjeen mukaisesti. Muista työalussa arvioida puhdistuksessa tarvittavat työsuojaimet sekä ympäristön vaaratekijät.

Nämä kaksi nopeaa toimenpidettä (kuva 11) voi suorittaa ruuvimeisselillä, paineilmalla tai muulla vastaavalla lähellä olevalla työkalulla. Paineilmaa käytettäessä ei suositella suoraa puhallusta kohti puhallinsiipeä koska paineilman kaltainen ilmavirta kuormittaa moottoria, puhallinsiiven välityksellä, yhä enemmän eikä se edesauta moottorin jäähtymistä. Jäähdytysurat tulisi puhdistaa aina puhaltimelle saakka eli myös puhallinkopan alta. Täytyy kuitenkin varoa ettei työkalu osu puhallinsiipeen sen pyöriessä! Puhdistuksen jälkeen kokeile kädellä jäähdytyksen toimivuutta jäähdytys urassa.



Kuva 11. Moottorin puhdistus lastalla sellumassasta.

Työssä kannattaa huomioida moottorin elinympäristö. Mikäli moottori näyttää olleen jo kauan liassa, kannattaa kuunnella onko jäähdytyksen puute jo mahdollisesti vaurioittanut moottoria. Selkeä äänen epämääräisyys kertoo mahdollisesta laakeri ynnä muista vaurioista. [21]

Mikäli moottori on suurelta osin likainen, joutunut massan peittämäksi tai kohdannut lipeää täytyy huolto jättää sähkökorjaamolle, jonne ilmoitus moottorista tulisi tehdä heti. Massan ja lipeän peittoon joutunut moottori vaatii välitöntä huomiota! [21]

4.7.5 Ohjeita ja opastusta tarkempaa puhdistusta varten

Moottorin ollessa erittäin likainen siirtyy sähkömoottorin puhdistus sähkökorjaamolle. Tämän kaltaisissa tilanteissa moottori vaatii suojakoteloiden irrottamista jolloin moottori täytyy pysäyttää ja lukita toimenpiteen ajaksi (kuva 12)! [21]



Kuva 12. Moottorin turvakytkimen lukitseminen.

Tarkempi puhdistus täytyy aina suunnitella etukäteen. Mikäli moottori on vioittunut ja joutuu irrotetuksi, hoidetaan puhdistus korjauksen yhteydessä. Toki yleisen siisteyden vuoksi kannattaa moottorille suorittaa päällisin puolin puhdistus jo osastolla, ettei turhaa likaa kuljeteta korjaamon työpisteelle. [21]

Moottori pysäytettäessä puhdistuksen ajaksi on järkevää puhdistaa moottori niin tarkasti kuin mahdollista. Alle on listattuna erityövälineitä käyttötarkoituksineen. Työkalut on esitelty tämän ohjeen alussa kohdassa työvälineet. [21]

4.7.6 Puhdistus tapauskohtaisesti

Helposti irtoava aines irrotetaan paineilmaa tai/ja harjaa/luutaa käyttäen (Kuvat 13, 14 ja 15) tai tarkempaa työtä tehtäessä pulloharjalla (kuva 16). Tällöin kannattaa suojasaketti irrottaa puhdistuksen ajaksi. Muista varoa puhaltimen suojakotelon sisällä olevaa puhallinta! Toinen tapa, varsinkin kuivauskoneella käynninaikana on imurointi. [21]



Kuva 13. Puhdistus harjalla.



Kuva 14. Puhdistus paineilmalla.



Kuva 15. Puhdistus muoviluudalla.



Kuva 16. Puhdistus pulloharjalla.

Kiinteän lian kuten massan, kalkin ja kovettuneen pölyn poistoon paras työtapa on harjaus kovapiikkisellä tai muuten jäykällä harjalla (kuva 17). Metallilasta on myös hyvä apuväline esimerkiksi etusäleikön puhdistukseen, kuten myös kaiken tiukkaan kuivuneen materiaalin poistamiseen (kuva 18). Lian ollessa erittäin tiukassa, voidaan puhdistus suorittaa teräsharjaa hyväksi käyttäen. Teräslastaa tai teräsharjaa käytettäessä tulee

moottorin maalipintaa varoa. Maalipinnan rikkoontuessa korjausmaalaus tulee suorittaa paikkamaalilla ABB sävy. [21]



Kuva 17. Puhdistus jäykällä harjalla.



Kuva 18. Puhdistus metallilastalla.

Nestemäinen lika kuten vesi, lipeä tai muu prosessissa käytettävä aine tulee poistaa mahdollisimman nopeasti. Enimmät nesteet otetaan pois harjaa, lastaa tai kuivausrättejä

hyväksi käyttäen. Vettä voidaan poistaa myös imuria apuna käyttäen. Sähkökorjaamolla on vedenpoistoon hyväksytty malli. Lopuksi suoritetaan pikainen huuhtelu vedellä ja välitön kuivaus! Anna moottorin pyöriä koko pesu prosessin ajan jolloin myös moottori itse hoitaa kuivausta. Silti välitön kuivaus puhdistusrätein on aina tärkeää! Nestemäistä likaa poistettaessa täytyy erityisesti muistaa suojavälineet eli suojakäsineet, silmäsuojat, hengityssuojain, kengät sekä tarvittaessa suojapuku. [21]

Veden käytöstä on tarkemmin ohjeistettu tämän ohjeen alussa. Moottoreiden suojausluokka IP55 suojaa moottoria vain ylhäältä tulevilta roiskeilta, jolloin veden käyttö puhdistuksessa täytyy minimoida ja kuivaustoimenpide täytyy suorittaa heti veden käytön jälkeen, moottorin ollessa käynnissä. Puhdistuksen jälkeen muista kokeilla jäähdytysurista että jäähdytys toimii ja on tullut kuntoon! [21]

4.8 Sähkömoottoreiden käyttöönotto-ohje

Aina pyritään selvittämään miksi moottori joudutaan vaihtamaan. Selvitetään onko vika:

- moottorivika
- laakerivika
- käämityksessä oleva vika
- olosuhteet
- massa vuoto
- kosteus
- kemikaalit.

Moottoria edeltävät toiminnot:

- keskukset
- kaapelointi.

Mikäli vian syy ilmenee muuksi kuin moottorin itsensä aiheuttamaksi tulee syy selvittää ja korjata ennen kuin uusi moottori uhrataan kokeilemalla. Etsitään uusi moottori SAP-järjestelmän avulla.

Varmistetaan moottorin identtisyys aikaisempaan. Tietokannassa on merkattuna samalla nimikkeellä erilaisten kytkentäkopan omaavia moottoreita. Erilainen koppa aiheuttaa tuntien viivästyksen kohteessa sillä valmiina oleva syöttökaapeli on vaikeaa asentaa erilaiseen koppaan. Varmistetaan kytkyjen sopivuus kohteessa.

Tämän jälkeen suoritetaan linjaus laseria apuna käyttäen. Kytkyjä ei yhdistetä vielä tässä vaiheessa. Seuraavaksi moottori kytketään sähköisesti. Kaapelit kiristetään pulttikokoon ilmoitettuun momenttiin. Momenttitaulukko liitteenä (liite 4).

Mikäli moottori kuuluu keskusvoitelu järjestelmään on pohjatulppa muistettava irrottaa! Sen jälkeen suoritetaan koepyöritys ja samalla varmistetaan moottorin pyörimissuunta ja muutetaan tarpeen tullessa.

Linjauksen ja moottorin pyörimissuunnan tarkistuksen jälkeen akselin kytkyt yhdistetään. Ennen pääjännitteiden kytkemistä moottorille suoritetaan yläjännitepuolen eristysvastusmittaus. Asennustyön valmistuttua ilmoitetaan siitä valvomoon ja otetaan moottori käyttöön. Samalla huolehditaan, että moottorista löytyvät standardien mukaiset kilvet kuten arvokilpi. Lopuksi asennuspaikka siistitään ja katsotaan, että ilmanvaihto toimii niin kuin kuuluukin ja moottorin mekaaniset suojat ovat paikoillaan.

Sähkömoottorista tulisi löytyä päiden merkinnät kirjaimilla IEC 60034-7 standardin mukaan D (eng. Drive end) ja N (eng. Non-drive end), katso kuvaa 18. Akselin pyörimissuunta voi olla sähkökoneen D-päästä katsottuna joko myötäpäivään tai vastapäivään. [2]

Kolmivaiheinen vaihtosähkömoottorin sisäisen kytkentä tehdään siten, että vaiheet L1, L2 ja L3 kytketään moottoriin järjestyksessä liittimiin U, V ja W akselin pyörimissuunnasta katsottuna (D päästä katsottuna) myötäpäivään (kuva 18). Moottorin syötön tullessa parikaapelilla ja vaihekäämityksen alku ja loppupään ollessa yhdessä kytketään kaapelit liittimiin U_1 , V_1 ja W_1 ja U_2 , V_2 ja W_2 . Tämä pätee myös siinäkin tapauksessa, että kone ei voi rakenteellista syistä pyöriä kuin vastapäivään. Tässä tapauksessa pyörimissuuntaa muutetaan vaihtamalla kahden vaihejohtimen päät keskenään. Liitteenä numero 5 vielä tarkemmin näytetty moottorin liitin merkinnät.[2; 7]

Kohteessa seurataan moottorin toimintaa käyttöönoton aikana sekä suoritetaan tarvittavat mittaukset. Kohteessa suoritetaan uudelleen tarkistus 1-2 päivän kuluttua asennuksesta ja huolehditaan, että vanha moottori siirretään sähkökorjaamolle tutkittavaksi. Sähkökorjaamolla tutkitaan romutetaanko moottori vai korjataanko se vielä uudelleen käyttöä varten.

On tärkeää huolehtia varastokirjanpidon ja moottorin historian osalta tapahtumat SA-Piin, jolloin varmistetaan, että moottorin historia ja tiedot pysyvät ajan tasalla myös moottorin vaihdon yhteydessä. Samalla voidaan huolehtia, että varastoon jää uusi vara moottori käytettäväksi.

5 POHDINTA

Opinnäytetyömme tarkoituksena oli perehtyä moottoreiden kunnossapitoon koko sen elämänsäajan ajalta, käyttöön oton ja poiston välillä. Oman mausteensa tutkimukseen

toi haastava sellutehdasympäristö, joka määrittelee paljon moottorin toiminnan edellytyksiä. Tutkimus olemassa oleviin olosuhteisiin, järjestelmiin ja toimintamalleihin tapahtui haastattelujen sekä kohdekäyntien pohjalta. Kohdekäynneillä saimme tutkia moottoreita niiden oikeissa toimintaympäristöissään.

Organisoinnin ja teknisen laitteiston osalta löytyi maailmalta paljon kirjallisuutta ja tutkittua tietoa, joiden avulla toimintaa parantavia ehdotuksia oli helppo tehdä. Toimintaympäristö kuitenkin tuo oman haasteensa soveltaa tätä hankittua tietoa.

5.1 Tulosten arviointi

Tutkitut parannusehdotukset painoutuivat ennakkohuoltoon ja henkilöstöön. Laitteistoltaan, kuten laakerit ja rasvat olivat jo olemassa olevina hyviä joten niiden toimittajan vaihtamiseen ei ole tarvetta. Ennakkohuollon suurimpana ongelmana oli ilmennyt aika. Nykyisellä henkilöstöllä ei ollut resursseja hoitaa täysipainoista ennakkohuoltoa.

Tähän ongelmaan tarjottavat ratkaisut ovat automaattinen käynninaikainen valvonta tai/sekä henkilöstön lisääminen. Yhden tai useamman henkilön lisääminen pelkkään sähkömoottoreiden kunnossapitoon auttaisi huomattavasti toimintaa. Se selkeyttäisi toimintamallia sekä varmistaisi toimivan huollon, seurannan ja tilastoinnin. Näin päästäisiin paremmin suunniteltuun ajoon, jossa turhat tuotantokatkokset voitaisiin välttää.

Henkilöstön lisäämisen lisäksi parannettavaa on sähkömoottoreille tehtävissä mittauksissa. Tällä hetkellä seisokeissa ei suoriteta lainkaan mittauksia. Suosittelemme, että seisokeissa sähkömoottoreille tehtäisiin tulokset osiossa esitellyt mittaukset (Seisokin aikainen huolto s.41). Osittaispurkausmittauksia (off-line) tulisi suorittaa tietyn väli ajoin tärkeille suurjännitekoneille ja etenkin generaattoreille. PD-antureiden asentamista edellä mainittuihin moottorityyppeihin tulisi harkita. Off-line pd-mittaukset olisi järkevintä ostaa ulkopuoliselta palveluntoimittajalta, jolloin ei tarvitse investoida kalliisiin mittalaitteisiin ja henkilöstön koulutuksiin.

Tehtaalle oli hankittu SKF:n palveluihin siirryttäessä Marlin I-Pro mittalaite, jolla voidaan mitata lämpötilat sekä moottorin värinätasot. Mittalaitetta tulisi alkaa käyttää säännöllisesti ja hyväksi käyttää laitteen aikataulutusta mahdollisuuksien mukaan.

Viitekehitys ja toimeksiantajamme antama tavoite on siis toteutunut. Tutkimme asiaa kokonaisuutena ja pyrimme muodostamaan mahdollisimman hyvin yhteen toimivan kokonaisuuden, jossa pienet osa-alueet muodostavat hyvän kunnossapidon takaamaan moottorin mahdollisimman pitkän käyttöajan.

5.2 Oppimisprosessi

Saamamme toimeksianto oli laaja kokonaisuus, mutta se on tuonut esille monipuolisesti eri osa-alueita. Olemme saaneet tarkastella henkilöstön organisointia ja toimintaa teollisuuden ympäristössä sekä tutustua uusimpaan sähkötekniikkaan ja seurantalaitteisiin. Ammatillisen koulutuksen kannalta työ oli erittäin opettavainen ja se laajensi tietämystämme sähkömoottoreista sekä henkilöstön johtamisesta ja organisoinnista.

5.3 Jatkotutkimus- ja kehittämisideat

Tutkittava alueemme oli laaja, mutta lopputuloksen kannalta välttämätön. Halusimme saavuttaa toimivan kokonaisuuden kohteessa. Jatkotutkimus ideoita löytyykin monia. Tutkimus alueet voisi keskittää yhteen osaan viitekehityksessä olevista osasista, jolloin saataisiin tarkempi kuvaus jokaisesta osa-alueesta ja tietoa saataisiin syvennettyä.

Henkilöstön organisointi ja tässäkin työssä ehdotettujen automaattisen seurannan ja suojausten toteuttaminen konkreettisesti olisivat hyviä jatkotutkimuksen aiheita. Tehdas ympäristönä on osittain vanha ja uusien järjestelmien toteuttaminen rakenteellisesti vaatii hyvää suunnittelua.

LÄHTEET

1. Aarnio, A. Tekninen asiantuntija. Oy SKF Ab. Haastattelu [yksityinen sähköposti-viesti]. Vastaanottaja Hannu Rätty. Vastaanotettu 10.02.2011
2. ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita käsikirja. Luku 17, 2000.
3. ABB. Tekninen opas nro 5 [verkkodokumentti]. ABB. 2000.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$File/Tekninenopasnro5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$File/Tekninenopasnro5.pdf). 3.1.2011
4. ABB. SPAM 150 C moottorinsuojarele käyttöohje [verkkodokumentti]. ABB. 2002.
[http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/6314ee0a5dfa9dcbc2256c7e005575b9/\\$file/fm_spam150c_fi_baa.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/6314ee0a5dfa9dcbc2256c7e005575b9/$file/fm_spam150c_fi_baa.pdf). 1.3.2011
5. ABB. SPEM Motor protection relay [verkkodokumentti]. ABB. 2008.
<http://www.abb.com/product/seitp329/9b0b16004050dbbfc1256ffe0045b026.aspx?productLanguage=fi&country=FI&tabKey=2>. 2.3.2011
6. Aro, M., Elovaara, J., Karttunen, M., Nousiainen, K., Palva, V. Suurjännitetekniikka. Jyväskylä: Otatieto. 1996. ISBN 951-672-226-1
7. Aura, L., Tonteri, A.J. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY. 1996. ISBN 951-0-20167-7
8. Efora Oy. Efora lyhyesti [verkkodokumentti]. Efora Oy. 2008.
<http://www.efora.fi/efora-lyhyesti/efora-lyhyesti.html> 26.02.2011
9. Exxon Mobil Corporation. Product Description [verkkodokumentti] Exxon Mobil Corporation. 2009. http://forumesso.com/Canada-english/Files/Products_Lubes/IOCAENGRSMOMobilux_EP_2.pdf. 16.12.2010
10. Fluke. Corporation. Inspecting electric motors [verkkodokumentti]. Fluke Corporation. 2008. http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/2519596_6251_ENG_B_w.pdf. 25.2.2011
11. Fläkt Woods Oy. Taajuusmuuttajakäyttöjen laakerivikoja voidaan välttää [verkkodokumentti]. Fläkt Woods Oy. 2005. <http://www.flaktwoods.com/2f950ca9-9360-44eb-af6c-054c85411850>. 15.12.2010
12. Fläkt Woods Oy. Laakerivauriot kuriin oikealla asennuksella [verkkodokumentti]. Fläkt Woods Oy. 2007. <http://www.flaktwoods.com/dfe8d0d8-9af5-4ec6-8dca-95e79283eb4a>. 15.12.2010
13. Hassinen, H. Kunnossapitoasentaja Efora Oy. Suullinen haastattelu 21.01.2011
14. Hassinen, M. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy Suullinen haastattelu 21.01.2011

15. Johansson, S. Product Manager. Fortum Power and Heat Oy. Haastattelu [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Juha-Antti Muttonen. Vastaanotettu 10.1.2011
16. Johansson, S. Product Manager. Fortum Power and Heat Oy. Haastattelu [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Juha-Antti Muttonen. Vastaanotettu 25.1.2011
17. Juutinen, H. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy. Suullinen haastattelu 08.12.2010
18. Keinänen, T., Kärkkäinen, P. Konetekniikan perusteet. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy. 2009. ISBN 978-951-0-32900-9
19. Kujala, S. & Randell, K. Promaint 5/2010. Sähkömoottorin peruskunnonvalvonta kannattaa 46-49[verkkolehti].
http://palvelut.promaint.net/lehti/promaint_5_2010.html. 20.12.2010
20. Kymen Pultti ja Työväline Oy. Teräsruuviin ja muttereiden kiristysmomentit[verkkodokumentti].
<http://sp1.uni.fi/images/KPT%20Tuoteluettelo%20Momentit.pdf>. 3.2.2010
21. Kyyrönen, P. Kunnossapidon asiantuntija & Sähkötöiden johtaja. Efora Oy. Moottorin puhdistusohje malli.
22. Kyyrönen, P. Kunnossapidon asiantuntija & Sähkötöiden johtaja. Efora Oy. Suullinen haastattelu 12.01.2011
23. Leppänen, J. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy. Suullinen haastattelu 14.12.2010
24. Leppänen, J. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy. Sähköposti haastattelu 26.01.2010
25. Lipponen, M. Työnesivalmistelija. Efora Oy. Suullinen haastattelu 08.12.2010
26. Rätty, K. Kunnossapitoasentaja. Efora Oy. Suullinen haastattelu 05.01.2011
27. Sintrol. Kosketuksettomien lämpötilamittauksen perusteet [verkkodokumentti]. Sintrol. 2003.
<http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/561file1Upload.pdf>. 1.2.2011
28. SKF Reliability Systems. Marlin I-Pro [verkkodokumentti]. SKF Reliability Systems. 2004
http://www.brammer.be/images/sce/Downloads/Netherlands/CM2306_MARLIN_I_Pro.pdf. 22.1.2011
29. SKF-yhtymä. SKF:n sähköpurkausdetektori TKED 1 [verkkodokumentti]. SKF-yhtymä. 2009. http://www.mapro.skf.com/pub/pds/TKED1_datasheet_fi.pdf. 27.2.2011

30. Stora Enso Oyj. About as – Enocell – mailman johtava sellun tuottaja [verkkodokumentti]. Stora Enso Oyj. 2010 <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/enocell-pulp-mill/Pages/enocell-maailman-johtava-sellun-tuottaja.asp> 26.02.2011

Tämä ohje on tarkoitettu nopeaa, pintapuolista puhdistusta varten ja sen tarkoituksena on taata hyvä jäähdytys moottorille. Puhdistus on tarkoitettu suoritettavaksi käynnissä olevalle moottorille.

Työtä aloittaessa, muista arvioida työnlaajuus ja riskit! Muista myös oikeanlainen suojausvaatetus, kuten:

- suojakäsineet
- silmäsuojat
- hengityssuojain
- turvakengät
- suojapuku

Työn tarkoituksena on puhdistaa moottorin puhallinsäleikkö sekä jäähdytysurat. Näiden puhdistus onnistuu usein paineilman, ruuvimeisselin tai karkean harjan avulla. Käytettäessä karkeaa työkalua on muistettava:

- maalipintaa ei saa vahingoittaa! (paikkamaali, sävy ABB)
- varo tuuletinsiipeä, puhdistessa uria tuulettimen läheisyydessä!

Puhdista moottorin jäähdytysurat (kuva 1) aina puhallinkopan alle asti, puhallinsiivelle. Muista varoa puhallinsiipeä sen pyöriessä! Muista myös puhallinsäleikön (kuva 2) puhdistus ja kokeile lopuksi jäähdytysurasta jäähdytyksen toimivuus!



Kuva 1. Jäähdytysurien puhdistus.



Kuva 2. Puhallinsäleikön puhdistaminen.

Tämä puhdistus ohje on tarkoitettu pahoin likaantuneelle tai kemikaalien uhriksi joutuneelle moottorille. Vaativampi ja tarkempi puhdistus kuuluu aina sähkökorjaamolle, jonne likaantuneesta moottorista tulisi tehdä aina ilmoitus välittömästi.

Havaittaessa huoltoa kaipaava moottori tulisi tehdä määritelmä moottorin toiminnan kunnosta eli onko jo aiheutunut alkava laakeri vaurio tai jotakin muuta. Havainnointi suoritetaan kuuntelemalla. Huomiot toimivuudesta auttavat tekemään päätöksen, vaihdetaanko kone kokonaan vai saadaanko huolto tehtyä kohteessa. Vaativassa tapauksessa moottorin puhdistus vaatii suojakoteloiden irrottamisen. Suojakoteloiden irrottaminen edellyttää aina moottorin pysäytystä ja turvakytkimen lukitsemista!

Työtä aloittaessa, muista arvioida työnlaajuus ja riskit! Muista myös oikeanlainen suojausvaatetus, kuten:

- suojakäsineet
- silmäsuojat
- hengityssuojain
- turvakengät
- suojapuku

Työvälineet puhdistukseen löytyvät automaatiokorjaamon työkaluvarastosta, pahvilaitikkoon sijoitettuna (kuva 1).



Kuva 1. Työvälineet.

Työkaluvarastosta löytyy myös vedenpoistoon hyväksytty imuri malli, jota voidaan käyttää puhdistuksessa apuna. Paineilmaa löytyy osastoittain.

Tärkeimmät toimenpiteet ovat puhallinsäleikön, puhallin pesän sekä jäähdytysurien puhdistaminen. Kovettunut massa ja pöly saadaan lastalla tai jäykällä harjalla poistettua. Muista varoa maalipintaa (paikkamaali sävy ABB).

Kemikaalien poistossa voidaan käyttää myös vettä, mutta sen käyttö on minimoitava eikä vesi saa olla paineistettua! Vettä käytettäessä on moottorin oltava käynnissä ja välitön kuivaus täytyy suorittaa puhdistusrätein.

SÄHKÖMOOTTORIN IRROTUSILMOITUS

Liite 3

Sähkömoottorin irrotusilmoitus

Efora

TOIMINTOPIIKKA UH- - NIMI

Sähköpiiri UH-S- - Keskuslähtö

Irrotettu moottori UH_ - TEHO KW SAP Nimike

Irrotuksen syy Valitse

Muu:

Lämpörele	Asettelu arvo	A	Toiminut	<input type="checkbox"/>	Ei toiminut	<input type="checkbox"/>
	Koko	A	Toiminut	<input type="checkbox"/>	Ei toiminut	<input type="checkbox"/>
Sulake	Koko	A	Toiminut	<input type="checkbox"/>	Ei toiminut	<input type="checkbox"/>
	Tyyppi					

Lisätietoja

Uusi moottori UH_ - Hyllystä n:o

Työnumero

Varastovaraus ☐

Irrotuksen tekijä

Päivämäärä / .20

MOMENTTITÄULUKKO

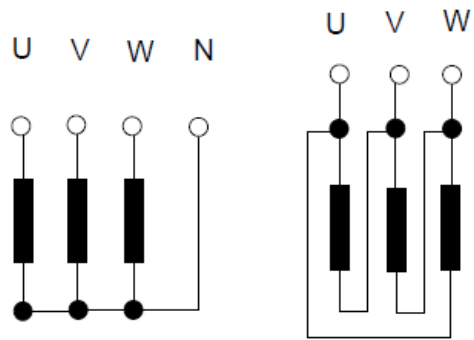
Liite 4

Kierre	Kovuus				
	4.6	5.8	8.8	10.9	12.9
	N/m	N/m	N/m	N/m	N/m
M3	0,5				
M4	1,2				
M5	2,4	4,1	6,5		
M6	4,2	6,9	11		
M8	10	17	27		
M10	20	33	53	74	89
M12	34	57	91	128	154
M14	54	91	145	204	244
M16	83	139	222	313	375
M20	163	271	434	610	732
M22	219	365	584	822	986
M24	281	469	750	1050	1270
M27	406	677	1080	1520	1830
M30	555	925	1480	2080	2500
M33	748	1250	1990	2800	3360
M36	965	1610	2570	3620	4340

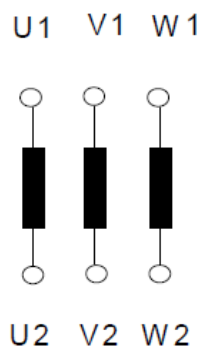
LIITINMERKINNÄT

Liite 5

Koneen käämitykset kytkettynä joko tähteen tai kolmioon:



Koneen vaihekäämityksen alku ja loppupää kytketty yhteen:



Kaksinopeusmoottorin liitinmerkinnät. Pienempi numero vastaa pienempää pyörimisnopeutta:

